NTNU
Det skapende universitet

Oppvarmingssystemer i bygg

- Analyse av nye byggekrav

Anders Egeli

Industriell økonomi og teknologiledelse
Innlevert: juni 2017
Hovedveileder: Stein-Erik Fleten, IØT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse

Problembeskrivelse

Det har i den siste tiden blitt gjort endringer på Byggteknisk forskrift (TEK 10) Kap.14 Energi, blant annet i §14-4; Krav til løsninger for energiforsyning (tidligere §14-7). Den nyeste versjonen som kom 1.juli 2016, åpnet for mer bruk av direktevirkende elektrisitet til oppvarming gitt at 60% av varmeforsyningen kommer fra et "energifleksibelt system".

Hvilken betydning vil denne endringen ha for valg av oppvarmingssystemer i et eller flere case-bygg og er det mulig å si noe om innvirkningen på markedet og miljøet?

Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet våren 2017 ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) og markerer min fullførelse av sivilingeniørstudiet Industriell økonomi og teknologiledelse.

Jeg vil først og fremst takke min veileder, professor Stein-Erik Fleten ved Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse, for hans mange gode råd og innspill. Jeg vil også takke Fredrik Skaug Fadnes og Ruben Skovgaard Slethei for muligheten til å skrive masteroppgaven i samarbeid med Norconsult. Norconsult og deres ansattes bidrag til data og annen informasjon har vært viktig for arbeidet med denne oppgaven.

NTNU, 03.06.2017
Anders Egeli

Sammendrag

Den siste tiden er det kommet endringer i Norges byggtekniske forskrift (TEK10) som åpner for mer bruk av direktevirkende elektrisitet til oppvarming. Med begrepet direktevirkende elektrisitet menes panelovner, stråleovner, elektriske varmekabler og elektrokjeler. Elektrisitet brukt til drift av varmepumper omfattes ikke av dette begrepet.

Historisk har Norge vært i en særstilling på grunn av vår fornybare og kostnadseffektive kraftproduksjon. Derfor er elektrisitet mye brukt til oppvarming av bygg. Når det norske kraftsystemet i stadig større grad knyttes til det europeiske, bør vi utnytte elektrisiteten bedre for å redusere fossil kraftproduksjon på kontinentet. Et av målene bak forskriftendringen var å redusere byggekostnadene gjennom fjerning, lemping og forenkling av kravene til nybygg. Åpningen for mer bruk av direktevirkende elektrisitet er i tråd med dette. Det bør derimot også tas hensyn til energieffektivisering og miljøutslipp for å nå norske og internasjonale klimamål. Energieffektiviseringstiltak som i tillegg til å være miljøvennlige også er økonomisk lønnsomme bør gjennomføres. Reguleringer som TEK10 er myndighetenes verktøy til å sørge for at dette skjer.

Resultatene for de to case-byggene (boligblokk og sykehjem) undersøkt i denne oppgaven viser at luft/vann varmepumpen, som er en av de energieffektive løsningene, også er den mest lønnsomme i et livsløpsperspektiv. Reduksjoner i de løpende energikostnadene veier tungt i lønnsomhetsberegningene, mens de initielle investeringskostnadene er av mindre betydning. Innspill fra aktører i varmenæringen tyder på at utbyggerne til tross for dette velger direktevirkende elektrisitet på grunn av lave investeringskostnader. Basert på dette er det gjort et anslag på markedsandeler for ulike oppvarmingsløsninger med og uten åpning for mer bruk av direktevirkende elektrisitet. Gitt dette anslaget viser en analyse gjort med grove forutsetninger et merforbruk på 250 GWh elektrisitet og en reduksjon i bruk av fjernvarme og bioenergi på henholdsvis 80 GWh og 100 GWh. Dette resulterer i omtrent 80 000 tonn CO_2 ekstra miljøutslipp per år fra nybyggene som bygges under den nye forskriften. Konklusjonen fra denne analysen blir derfor at norske myndigheters mål om å redusere byggekostnadene kan gi utbyggerne bedre marginer. Taperne er miljøet, samt brukerne av byggene som sitter igjen med høyere løpende energikostnader.

Abstract

Recently, there have been made changes in the Norwegian building technology regulations (TEK10), which allow for more use of direct electrical heating. Direct electrical heating covers electric wall heaters, radiators, heating cables and boilers. Electricity used for the operation of heat pumps is not covered.

Historically, Norway has been in a favourable position due to our renewable and cost-efficient power generation. Accordingly, electricity is widely used for heating of buildings. As the Norwegian power system is becoming more and more linked to the European system, we should improve our utilization of electricity to reduce fossil power generation on the Continent. One of the objectives behind the change of regulations was to reduce construction costs through removal, relaxation and simplification of requirements for new buildings. The opening for more use of direct-acting electricity is in line with this. On the other hand, energy efficiency and greenhouse gas emissions should also be taken into account in order to reach Norwegian and international climate targets. Energy efficiency measures that, in addition to being environmentally friendly, are also economically profitable should be implemented. Regulations like TEK10 are the authorities' tools to make sure this happens.

The results for the two case buildings (housing block and nursing home) investigated in this thesis show that the air/water heat pump, which is one of the energy efficient solutions, is also the most profitable in a life-cycle perspective. Reductions in current energy costs weigh heavily in the economic analyses, while initial investment costs are less important. Input from actors in the heating industry indicates that the developers despite this choose direct electrical heating due to lower investment costs. Based on this, an estimate of the market shares for various heating solutions has been made for a case with and a case without the opening for more use of direct electrical heating. Given these estimates, an analysis based on rough assumptions shows an increase in consumption of 250 GWh electricity and a reduction in the use of district heating and bioenergy of 80 GWh and 100 GWh respectively. This results in an increase of approximately 80 000 tonnes of CO_2 emissions per year from new buildings built according to the new regulations. The conclusion to be drawn from this analysis is therefore that the Norwegian authorities' objective of reduced construction costs may end up in better margins for the developers. The losers are the environment, as well as

the users of the buildings that end up with higher energy expenditures.

Innhold

Problembeskrivelse i
Forord ii
Sammendrag iii
Abstract iv

1 Innledning **1**

2 Bakgrunn og tidligere litteratur **5**
2.1 Ny byggteknisk forskrift 5
2.2 Energieffektivisering 6
2.3 ZEB 9

3 Teori og metode **11**
3.1 SIMIEN 11
3.2 Krav i TEK10 §14 14
3.3 Nåverdimetoden 17

4 Data **19**
4.1 Strømkostnader 19
4.1.1 Kraftpris 19
4.1.2 Nettleie 23
4.1.3 Avgift på strøm 24
4.1.4 Total strømpris 25
4.2 Fjernvarmepris 25
4.3 Biopellets 26
4.4 Energipriser til investeringsanalysen 27
4.5 CO_2-faktorer 27

4.6 Systemvirkningsgrader 30
4.7 Dekningsgrader 31
4.8 Investeringskostnader 33
4.9 Drift- og vedlikeholdskostnader 36
4.10 Diskonteringsrente 36
4.11 Forventet nybyggareal 37
4.12 Case-byggene 39
4.12.1 Verdier til beregning opp mot krav 39
4.12.2 Boligblokken 40
4.12.3 Sykehjem 44
4.13 Verdier til beregning av reelt forbruk 47

5 Resultater **50**
5.1 Boligblokk 50
5.1.1 Investeringsanalyse 51
5.2 Sykehjem 55
5.2.1 Investeringsanalyse 56
5.3 Påvirkning på markedet 60

6 Konklusjon **62**
6.1 Begrensninger i oppgaven 63
6.2 Videre arbeid 64

Kilder **66**

Vedlegg **68**

1. Innledning

Den siste tiden har det vært en del diskusjoner rundt endringer i byggteknisk forskrift (TEK10) og påvirkningen dette har på bygg- og varmemarkedet. Det er spesielt endringen i krav til energiforsyning (tidligere §14-7, nå §14-4) som har ført til stor debatt mellom interessentene i næringen.

Tidligere var det krav om at bygg over 500m^2 skulle dekke minimum 60% av netto varmebehov med en annen energiforsyning enn direktevirkende elektrisitet og fossile brensler. Etter den siste endringen i forskriften skal nå 60% av netto varmebehov i bygg over 1000m^2 dekkes av "energifleksible systemer". På oppdrag av Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) har Asplan Viak definert energifleksible varmesystemer som følger:

> *Med «energifleksible varmesystemer» menes at utskifting mellom energikilder kan skje uten inngrep i bygningskroppen, og utelukkende innen teknisk rom (uten at det gjennomføres vesentlig ombygging). Det vil i praksis bety at det må benyttes et internt varmedistribusjonsnett (vann- eller luftbårent), som forsynes med varme fra en varmesentral i bygget, eventuelt fjernvarme/nærvarme* (Asplan Viak, 2016).

Dette betyr at direktevirkende elektrisitet nå kan forsyne bygget med varme til varmtvann, ventilasjon og eventuelt vannbåren romoppvarming så lenge el-kjelen eller varmtvannsbereder en står i en felles varmesentral og dekker 60% av netto oppvarmingsbehov. For enkelte bygningskategorier med høyt varmtvannsbehov (over 60% av netto oppvarmingsbehov), vil det være tilstrekkelig med varmtvannsbereder eller el-kjel som dekker varmtvannsbehovet for å møte kravet til energifleksibilitet. En står da fritt til å dekke romoppvarmings- og ventilasjonvarmebehovet med for eksempel panelovner og elektriske varmebatterier.

Ulike aktører i varmenæringen hevder også at dette er en løsning som mange utbyggere synes er fordelaktig, særlig utbyggere som ikke selv står for driften av bygget og dermed betale energiregningene ut i tid. Disse er interessert i å redusere investeringskostnadene og det

gjøres ved å klare seg uten vannbåren varme i så stor grad som mulig. Under Varmepumpekonferansen 2017 var jeg blant annet i kontakt med ABK som er en stor varmepumpeleverandørene i Norge. De hadde fått flere avbestillinger etter forskriftsendringene og antydet at flere og flere utbyggere prosjekterte byggene sine med mål om å slippe å installere varmepumper og vannbåren varme. Dette kan for eksempel gjøres gjennom å prosjektere bygg som kommer under 1000m^2 grensen, eller ved finne andre enkle og billige alternativer som møter kravet til energifleksibilitet. Det kan om nødvendig være en mulighet å dekke en liten del av romoppvarmingsbehovet med vannbåren varme, slik at en samlet akkurat kommer over 60% energifleksibilitet.

Det at det nå åpnes for mer bruk av elektrisitet i bygningsmassen står i kontrast til klimamålene i EU om kraftig reduksjon i CO2-utslipp. Elektrisitet er en høyverdig energikilde. Det vil si at det for eksempel i et varmekraftverk kreves mer energi i form av kWh varme inn i kraftverket enn det en får ut i form av elektrisitet. Det samme gjelder også motsatt. Ved bruk av varmepumper kan en få mer kWh varme ut en det som forbrukes av strøm. Energieffektivisering i bygningsmassen vil være en viktig faktor for å nå klimamålene ettersom den frigjorte elektrisiteten trengs i andre sektorer som f.eks. transport, hvor vi til nå har vært avhengig av fossile brensler. Strømmen bør derfor ikke "sløses" bort på oppvarming av bygginger hvor behovet for varme kan dekkes av energieffektive varmepumper eller andre energikilder. Norge har vært i en særstiling når det kommer til forbruk av elektrisitet til bygninger på grunn av store mengder fornybar og kostnadseffektiv vannkraft. I tiden fremover vil det komme store endringer i det europeiske kraftmarked som Norge, gjennom integrering av overføringsnettet, i større og større grad er en del av. Det vil derfor være viktig at vi i Norge bruker mindre elektrisitet i byggene og heller bruker vår vannkraft til å effektivisere kraftsystemet i Europa. I så måte går de nye byggtekniske kravene som undersøkes her i feil retning.

EU har gjennom *Energy Performance of Buildings Directive* (her) satt et mål om at alle nybygg fra 2020 blir oppført som "nearly Zero Energy Buildings" (nZEB). Det forventes at dette også vil bli gjeldende i Norge. Litt forenklet betyr nZEB at byggene skal produserer omtrent like mye energi som de forbruker. Tidligere undersøkelser på utviklingen i energibruk i byggsektoren har basert seg på den gamle forskriften og en forventning om strengere og strengere krav over tid for å nå klimamålene. På tross av befolkningsvekst har det til nå vært en trend

at strømforbruket i bygningsmassen har holdt seg på et relativt stabilt nivå. Det er også blitt gjort analyser på hvilken effekt ZEB vil kunne ha på kraftsektoren hvor det pekes på en videre positiv utvikling. En endring i regulering som medfører at bygg de neste årene kan utformes med fullstendig energidekning fra direktevirkende elektrisitet som gir høyere energiforbruk, er en uventet utvikling som er verdt å undersøke. Jeg har ikke funnet en slik konsekvensanalyse og i så måte håper jeg at denne oppgaven kan gi et bidrag til litteratur på dette området.

Målet med oppgaven er å gi et bilde på hvordan den nye byggtekniske forskriften påvirker to case-bygg ved å gjøre livsløpsanalyser for investeringer i de ulike varmesystemer og om mulig si noe om påvirkningen dette har på markedet gjennom analyser av energiforbrukt de ulike systemvalgene resulterer i. Oppgaven kan kanskje også bidra til at flere velger oppvarmingssystemer basert på totaløkonomisk lønnsomhet og miljøhensyn i stedet for å fokusere på initielle investeringskostnader. Mange utbyggere har også et ønske om å bygge miljøvennlig og det er derfor viktig å gi dem informasjon om samfunnsnytten av dette og hvordan det på en god måte kan gjøres. Gjennom arbeidet med denne oppgaven har det også blitt klart at aktører i næringen ikke har fullt kjennskap til den nye forskriften, noe som også ble tatt opp på Varmepumpekonferansen 2017. Dermed kan oppgaven også bidra til å informere om endringen og dermed øke den generelle kunnskapen om TEK10. Målgruppen for oppgaven er interessenter i byggebransjen, lokale og sentrale myndigheter og politikere samt andre som har interessert av å lære mer om energibruk i bygginger og valg av varmesystemer.

I oppgaven vil det først gis en gjennomgang av bakgrunnen for diskusjonen rundt endringen i TEK 10 og tidligere litteratur på området. Metoden og deler av teorien knyttet til energiberegninger og lønnsomhetsvurderinger, samt kravene i siste versjon av TEK 10 vil så bli presentert. Deretter vil forutsetninger og data for viktige innsatsfaktorer som blant annet energipriser, virkning- og dekningsgrader samt investeringskostnader for de ulike systemene presenteres og begrunnes. De to case-byggene, en boligblokk og et sykehjem, utformes så ved evaluering opp mot krav i simuleringsprogrammet SIMIEN. Det er mange muligheter for hvordan byggene utformes med hensyn på blant annet bygningskropp og oppvarmingssystemer. Case-byggene vil her bli utformet slik at de akkurat møter kravene i TEK10 og slik at de ulike energikildene i størst mulig grad dekker energibehovet til oppvarming alene. De normerte og standardiserte verdiene som brukes til evaluering av energibruk opp mot for-

skriftskrav er litt ulike fra de reelle verdiene som bygget ofte virkelig vil ha. Derfor utføres det også beregninger med mer reelle verdier. Det er disse beregningene som skal brukes til å regne på forskjell i totalkostnad, energiforbruk og dermed forurensning mellom de ulike oppvarmingssystemene. For at systemene best mulig skal kunne sammenlignes vil det ikke gjøres endringer på bygget fra system til system, selv om dette i noen tilfeller kanskje ville vært nyttig. Resultatene fra case-byggene vil så brukes til å gi noen vurderinger rundt mulige implikasjoner på utviklingen i energibruk fra bygningsmassen generelt. Til slutt kommer konklusjonen angående følgene av endringen i krav til energiforsyning og mine tanker om veien videre. Bygg har lange levetider. Hvordan nybygg utformes de neste årene vil derfor ha innvirkning på energisektoren i lang tid fremover.

2. Bakgrunn og tidligere litteratur

2.1 Ny byggteknisk forskrift

Direktoratet for byggkvalitet skriver på sine hjemmesider (her) at det arbeides med en ny byggteknisk forskrift (TEK17), hvor hovedmålet er å få et enklere og tydeligere regelverk. Dette skal gjøres gjennom forenkling, tydeliggjøring og bedre struktur for å gjøre forskriften mer brukervennlig. Samtidig skal de nye endringene bidra til å redusere byggekostnadene (primært for boliger) gjennom fjerning, lemping og forenkling av krav.

Forslaget til TEK17 var ute på høring i begynnelsen av 2017. Her ble det ikke foreslått noen videre endring av Kap.14 Energi. Dette tyder på at den siste versjonen (01.07.2017) av dette kapittelet i TEK10 også vil være det gjeldende regelverket i TEK17. Under arbeidet med regulering av energibruk i bygg er det gjort flere analyser av hva som burde endres og hvilken påvirkning dette ville ha. Blant annet har Multiconsult (2014), på oppdrag for DiBK, gjort konsekvensanalyser på hvilke skjerpelser som bør innføres for å redusere energiforbruket i bygg. Anbefalingene de kommer med gjelder hovedsaklig bygningskroppen og er basert på økonomiske analyser samt bransjens forventninger til nye energiregler på "passivhusnivå" fra 2015. Det virker derimot ikke som de så på muligheten til og konsekvensen av å lempe på kravet til energiforsyningen.

DiBK kom ut med nye forskriftskrav til energibruk i bygg i starten av 2016 (med ett års overgangstid). I den nye forskriften hadde kravene til bygningenes energibehov nærmet seg passivhusnivået, men det var også gjort endringer på kravet til energiforsyning. Bygg over 1000m^2 skulle ha 50% energifleksible varmesystemer, i motsetning til at bygg over 500m^2 tidligere skulle dekke 60% av varmebehovet med annen varmekilde enn fossil og direktevirkende elektrisitet. Etter protester fra bransje- og miljøorganisasjoner, samt aktører i varmenæringen som blant annet Vidar Havellen i Norconsult (her), ble denne delen trukket tilbake.

Asplan Viak (2016) fikk i oppdrag av DiBK å fremskaffe underlag for å vurdere omfanget av energifleksible varmesystemer. Det ble kartlagt konsekvenser ved ulike %-satser for de tre byggningskategoriene; boligblokk, kontorbygg og forretningsbygg. For boligblokker kom de frem til at en %-sats på opp til 60% ville føre til at energifleksibilitetskravet kunne dekkes av et sentralt anlegg for varmtvann. Det ville ved en 60%-sats være nødvendig at det de karakteriserte som "enkelte" energitiltak ble utført for å senke oppvarmingsbehovet til rom og ventilasjon. I henhold til deres resultater ville krav om vannbårne systemer medføre ekstrakostnader selv ved de enkleste og billigste formene for vannbåren varme. Etter utredningen satte myndighetene opp %-satsen til 60% sommeren 2016 og dette ble gjeldende regelverk fra 01.01.2017.

Det er også flere lignende utredninger utført både på vegne av norske myndigheter og som svar på endringer som er blitt foretatt. Det synes å være mange som er engasjert i temaet og bidrar i diskusjonen. Flere av utredningene er gode og gir godt innblikk i forutsetningene som ligger til grunn for resultatene, men flere (som f.eks Asplan Viak (2016)) gir også for lite informasjon til at resultatene kan etterprøves. Dette er på mange måter forståelig ettersom det er veldig mange parametre som inngår i slike analyser, men større tilgang på informasjon kunne bidratt til at de ulike resultatene enklere kunne sammenlignes med hverandre. Jeg savner også en litt mer helhetlig begrunnelse for de ulike endringene myndighetene kommer med og konkrete målsetninger de ønsker å oppnå gjennom disse.

2.2 Energieffektivisering

I 2010 kom en arbeidsgruppe, oppnevnt av Kommunal- og regionaldepartementet ut med en rapport som skulle gi innspill til en handlingsplan for energieffektivisering av bygg (Kommunal- og regionaldepartementet, 2010). Arbeidsgruppen besto av ulike interessenter innenfor fagfeltene bygg, energi og miljø. Arnstadrapporten som den kalles, hadde som formål å legge frem forslag til mål og nødvendige virkemidler for å nå disse målene. De skriver blant annet at;

1. flere internasjonale studier viser at energieffektivisering er det enkleste og billigste klimatiltaket og derfor bør prioriteres.

2. energieffektivisering i bygg bidrar til å erstatte forurensende energikilder i andre sek-

torer og reduserer behovet for ny kraftproduksjon.

3. en betydelig andel av tiltakene også vil være samfunnsøkonomisk og bedriftsøkonomisk lønnsomme.

For å nå europeiske og internasjonale miljøforpliktelser mener Kommunal- og regionaldepartementet (2010) at det kreves en tydelig satsning på energieffektivisering av bygg gjennom stadig strengere krav.

Arbeidsgruppen mente det var viktig med konkrete mål for energieffektiviseringen av bygg og kom frem til to mål med utgangspunkt i et energiforbruk til drift av bygg på 80TWh per år i 2010. Innen 2020 mente gruppen det var realistisk å redusere dette behovet med 10 TWh og innen 2040 ville være mulig å halvere 2010-nivået til 40TWh/år. Reduksjonen frem mot 2020 mener de i hovedsak må komme fra energieffektivisering av eksisterende bygningsmasse, mens det frem mot 2040 i større grad vil bli viktig hvordan nybygg utformes. Planen for regulatoriske virkemidler som blir foreslått for nybygg inneholdt blant annet forskriftskrav på passivhusnivå fra 2015 og krav om "nesten nullenergibygg" med tilnærmet 100% fornybar varmeforsyning i 2020.

Norsk Teknologi kom noen år senere med et faktahefte om energibruk i i bygg (Norsk Teknologi, 2013). Heftet tar utgangspunkt i bygningers rolle i et overordnet energi- og klimaperspektiv. De poengterer at verdens totale energibruk hadde en årlig vekst på 1,8% i perioden 1980 til 2009 og at dersom veksten fortsetter i samme takt, vil energiforbruket fordobles i 2048. Samtidig må verdens samlede klimautslipp kuttes med mellom 50-80% for å nå det internasjonale +2 gradersmålet i 2050. I heftet står det at elektrisitet og varmeproduksjon står for ca. 25% av de menneskeskapte klimautslippene. Norsk Teknologi (2013) skriver at det viktigste bidraget for å løse den globale energiutfordringen vil være å utnytte potensialet i energieffektivisering. Effektivisering av bygg spiller en viktig rolle i denne sammenhengen. Det blir presentert tre forhold som ligger til grunn for den europeiske satsningen på energieffektivisering:

1. EU har identifisert et stort økonomisk potensial i energieffektivisering.

2. EU er bekymret for sin fremtidige forsyningsikkerhet på energi.

3. EU har et stort potensial til å redusere klimautslipp ved å redusere energibruk i bygg.

Det poengteres at Norge ikke har like stor politisk motivasjon som EU til å satse på energieffektivisering blant annet ettersom vi har små bekymringer knyttet til forsyningssikkerhet. Den politiske motivasjonen er ikke tilstrekkelig til at norske myndigheter har skjerpet sin innsats på dette området, til tross for at det nasjonale potensialet for energieffektivisering er utredet en rekke ganger i regi av ulike utvalg og offentlige organer. "Det foreligger få argumenter eller motforestillinger mot et nasjonalt løft for energieffektivisering" (Norsk Teknologi, 2013). Likevel har Norge ikke lykkes med å lande på en konkret målsetning for energieffektivisering i bygg. På side 6 i faktaheftet fremlegges en tidlinje som viser hvordan norske myndigheter gjennom en rekke offentlige dokumenter unnlater å lande på en konkret målsetning på dette området. Norsk Teknologi (2013) mener dette har ført til at offentlige rammer og virkemidler for energibruk i bygg fremstår som tilfeldige, ukoordinert og lite målorienterte.

I år kom Norsk Teknologi ut med en ny versjon av samme heftet (Norsk Teknologi, 2017). Energibruken i bygg har etter tallene som ble presentert i 2013 og 2017 økt fra 81TWh til 84TWh. Dette står i kontrast til planen fra Arnstadrapporten om å redusere energibehovet med 10TWh fra 2010-nivå innen 2020. Endringene i TEK blir også presentert i det nye heftet, men utover en presentasjon av endringene og hvordan en kan forholde seg til de nye forskriftene blir det ikke gitt noen inngående analyse av hvordan dette påvirker miljøpolitikken presentert i 2013 utgaven.

Heftet ble gitt ut i starten av 2017 og de skriver at "det hersker imidlertid fortsatt en del usikkerhet om hva som vil bli det endelige handlingsrommet i energikravene mht. oppvarmingsløsninger, ettersom veiledningen til forskriften ikke vil bli ferdig sommeren 2016". Som nevnt virker det derimot på høringsnotatet for den nye forskriften (TEK17) som at det ikke er forelått videre endringer i kapittel 14. Energi. Dette kan tyde på at versjonen som kom ut sommeren 2016 vil være gjeldende de neste årene og at Norsk Teknologi (2017) ikke har fått tid til og se så nøye på konsekvensene av forskriftsendringen, ettersom de fortsatt var litt usikker på hva som ble det endelige handlingsrommet. Min oppgave vil derfor kunne gi et bidrag på dette området og ikke minst informere om hva som vil være gjeldende forskriftskrav.

Norsk Teknologi (2017) tar derimot opp videre utvikling i energikravene, blant annet skjer-

pelsen til ”nesten nullenerginivå” fra 2020. De skriver at det trolig vil bli fokus på energiforsyning og effektiv bruk av belysning og tekniske installasjoner, ettersom de passive energitiltakene som går på bygningskroppen allerede er svært strenge som følge av endringen som kom i 2016. Videre kommenterer de at det ikke er lagt noen politiske føringer på hvordan utviklingen vil fortsette i perioden 2020-2030, men at en rekke miljø- og interesseorganisasjoner ønsker et økt fokus på energieffektivitet og reduserte klimabelastninger i et livsløpsperspektiv.

2.3 ZEB

Når det kommer til ’nullenergibygg” ZEB eller ”nesten nullenergibygg” nZEB er det også gjort en del analyser av hva som er den optimale energiløsningen (Lindberg et al., 2016a) & (Lindberg et al., 2016b) og hvilken betydning en stor utfasing av dagens bygningsmasse til en norsk bygningsmasse der 50% er utformet som ZEB vil ha(Dyrendahl, 2016). ZEB defineres i Dyrendahl (2016) som et bygg med lavt energibehov, og som dekker det årlige energibehovet med energi produsert lokalt. Nullenergibygg må altså redusere energibehovet først og så dekke resterende behov med egenprodusert energi.

Lindberg et al. (2016b) skriver at ZEB kan defineres ut fra enten at summen av energien eller at summen av utslippene ”inn” og ”ut” av bygget skal være lik. Da blir henholdsvis primærenergifaktorene og CO_2-faktorene viktige for hvor mye energi som må produseres. Bioenergi kommer veldig godt ut på begge disse faktorene ettersom det hverken kreves noe særlig energi for å produsere bioenergi eller slippes ut noe særlig netto CO_2 til atmosfæren per KWh energi som produseres. Dermed vil en ved bruk av biokjeler slippe å produsere så mye strøm, ved bruk av for eksempel solceller, i forhold til en varmepumpeløsning som drives av elektrisitet. Allerede for en liten implementering av ZEB, altså at litt av forbruket er lokalt produsert, vil biokjeler passere varmepumper som den mest kostnadsoptimale energiløsningen.

Dyrendahl (2016) har gjort analyser av hvordan innførselen av ZEB i bygningsmassen påvirker totalt energiforbruk og energiproduksjon ved forskjellige scenerioer. Blant annet er det gjort en sammenligning der 50% av byggene i 2030 er ZEB og energiløsningen er en-

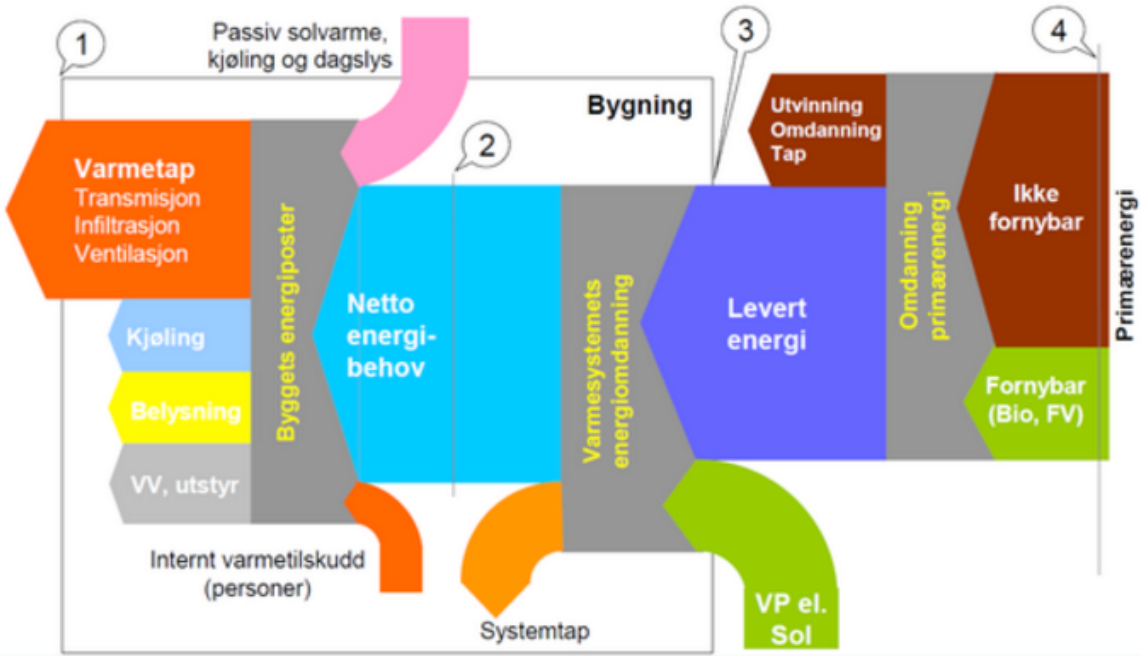
ten direktevirkende elektrisitet (Dir el), varmepumper (VP) eller annen (fjernvarme & Bio), mens solceller står for produksjonen. Disse er sammenlignet med et ”Business as usual”-case (BUA) hvor ZEB ikke blir implementert. I henhold til resultatene hans vil Norge ha et kraftoverskudd på henholdsvis 10, 33.8, 43.7 og 47.4 TWh for BUA, Dir el, VP og FV+Bio.

3. Teori og metode

3.1 SIMIEN

SIMIEN er et norskutviklet simuleringsverktøy som brukes til beregning av energibruk og vurdering av inneklima i bygninger. Programmet brukes til "...evaluering mot byggeforskrifter, energimerking, beregning av årlig energibehov, validering av inneklima og dimensjonering av oppvarmingsanlegg, ventilasjonsanlegg og romkjøling" (ProgramByggerne.no).

Simuleringene utføres ut fra inndata på blant annet bygningens geometri, varmegjennomgangskoeffisienter (U-verdier) for de ulike bygningsdelene, oppvarmingsanlegg, klimafaktorer, internlaster og varmelagring. SIMIEN er et dynamisk simuleringverktøy som beregner de tidsvarierende forholdene til bygget ut fra beregningsmetoden beskrevet i NS3031:2014. Ved bruk av klimadata for lokasjonen til bygget regner programmet på varmeavgivelsen til omgivelsene ved gitte temperaturforskjeller mellom inneluften og uteluften. Etter å ha tatt hensyn til varmetilskudd fra faktorer som solinnstråling og internlaster finner programmet behovet for oppvarming som skal til for å holde temperaturen på et ønsket nivå.



Figur 3.1: Prinsipiell skisse av energibalansen til en bygning. Kilde: lavenergiprogrammet.no

Figur 3.1 viser en prinsipiell skisse av energibalansen til en bygging. Når en skal regne på behovet for levert energi til et bygg starter en med varmetapene helt til venstre i figuren og regner seg så tilbake mot høyre. Som en kan se av figuren består varmetapene av tre ulike former for tap; transmissiontap (Q_t), infiltrasjonstap (Q_i) og ventilasjonstap (Q_v). Det totale varmetapet gjennom bygningskroppen blir da $Q_{tot} = Q_t + Q_i + Q_v$. Etter å ha tatt hensyn til internlaster samt passiv varme fra solen får en da et netto energibehov til belysning, utstyr, oppvarmings og eventuelt kjøling. Til slutt må tapene og virkningsgradene til systemene medregnes for å finne behovet for levert energi.

Transmissjonstapet er varmetapet gjennom vegger, vinduer, tak, gulv osv. som forekommer på grunn av temperaturforskjeller mellom innsiden og utsiden av bygget. Størrelsen på dette tapet styres av isolasjonsevnen til de ulike bygningsdelene og kan reduseres ved å isolere bedre mot omgivelsene. Ligningen for transmisjonstapet er:

$$Q_t = (\sum(A * U) + \Psi' * A_{BRA})(T_i - T_u) * t$$

, hvor A er bygningsdelens areal, U er bygningsdelenes isolasjonsevne (U-verdi), Ψ' er normalisert kuldebroverdi, A_{BRA} er oppvarmet bruksareal (BRA), $(T_i - T_u)$ er temperaturforskjel-

len og t er tiden. Kuldebroer er felter i bygningskonstruksjonen der varmetapet er vesentlig større enn i konstruksjonen ellers og normalisert kuldebroverdi er summen av alle disse varmetapene delt på oppvarmet BRA.

Infiltrasjonstapet er tap som kommer av "ukontrollert" lekkasje til omgivelsene, altså all luft som trenger gjennom bygningskroppens systemgrense utenom ventilasjonssystemet. Det vil si luft som lekker gjennom bygningens konstruksjon, samt gjennom åpne vinduer og dører. Infiltrasjonstapet er gitt av ligningen:

$$Q_i = cp * \rho * n * V * (T_i - T_u) * t$$

, hvor cp er det spesifikk varmekapasitet for luft, ρ er tettheten til luft ($cp * \rho = 1,26 kj/m^3K = 0,35 Wh/m^3K$), n er antall ganger luften i rommet byttes med uteluften per time, V er volumet i bygget og resten er som tidligere beskrevet. Lekkasjetallet (n_{50}) som brukes senere i oppgaven er luftlekkasjen som forekommer under en 50 Pascal trykktest. Et så høyt trykk vil selvfølgelig ikke forekomme naturlig i bygget, men basert på blant annet vinddata vil SIMIEN regne på den virkelige lekkasjen ut fra denne verdien. Det naturlige lekkasjetallet ligger i området 5-10% av n_{50} i snitt over et helt år.

Ventilasjonstapet er varmetapet gjennom ventilasjonssystemet i bygget. Dette varmetapet kan reduseres kraftig ved å installere gode varmegjenvinnere som klarer å overføre mye av varmen i luften som er på vei ut av bygget og tillføre det til den nye luften som skal inn. Formelen for ventilasjonstapet er:

$$Q_v = cp * \rho * qv * (1 - \eta/100) * (T_i - T_u) * t$$

, hvor qv er luftstrømmen i ventilasjonsanlegget, η er varmegjenvinneren virkningsgrad i % og resten av parametrene er som beskrevet over.

Formlene for varmetapene over er ikke helt like formlene som gis i NS3031:2014. Det er her prøvd å gjøre dem litt enklere for at de skal være mer forståelige, men også for å få dem til å samsvare bedre med inndata som blir oppgitt senere i oppgaven. NS3031 gir også metodene for resterende beregninger som inngår i SIMIEN. Disse vil derimot ikke bli gjennomgått her

og det refereres derfor til standarden hvis en ønsker nærmere forklaring på metodene.

3.2 Krav i TEK10 §14

SIMIEN brukes som nevnt tidligere også til evaluering opp mot forskriftskrav. Det vil her bli foretatt en gjennomgang av de viktigste delene av TEK10 §14 Energi, altså §14-2 til §14-4. For nærmere beskrivelse av §14-1 Generelle krav og §14-5 Unntak og krav til særskilte tiltak, samt nærmere informasjon om delene beskrevet under refereres det til DiBK sine hjemmesider (her).

Det finnes to metoder for bergeninger opp mot krav i TEK10 §14-2 Energieffektivitet; rammekravsmetoden og tiltaksmetoden. Det er bare boligbygninger som kan bruke tiltaksmetoden, mens rammekravsmetoden kan benyttes for alle bygningskategoriene.

Bygningskategori	Totalt netto energibehov [kWh/m^2 oppvarmet BRA pr. år]
Småhus, samt fritidsbolig over 150 m^2 oppvarmet BRA	100 + 1600/m^2 oppvarmet BRA
Boligblokk	95
Barnehage	135
Kontorbygning	115
Skolebygning	110
Universitet/høyskole	125
Sykehus	225 (265)
Sykehjem	195 (230)
Hotellbygning	170
Idrettsbygning	145
Forretningsbygning	180
Kulturbygning	130
Lett industri/verksteder	140 (160)

Tabell 3.1: Energirammekrav til totalt netto energibehov for de ulike bygningskategoriene (TEK10 §14-2 (1)).

Ved rammekravsmetoden kan ikke byggets samlede netto energibehov overskride en rammeverdi som gjelder den aktuelle bygningskategorien, gitt i kWh/m^2 oppvarmet BRA per år. Rammeverdiene i TEK10 for de ulike bygningskategoriene er gjengitt i Tabell 3.1. Kravene i parentes gjelder for arealer der varmegjenvinning medfører risiko for spredning av forurensning/smitte.

	Energitiltak	Småhus	Boligblokk
1.	U-verdi yttervegg [W/(m^2 K)]	$\leq 0,18$	0,18
2.	U-verdi tak [W/(m^2 K)]	$\leq 0,13$	0,13
3.	U-verdi gulv [W/(m^2 K)]	$\leq 0,10$	0,10
4.	U-verdi vinduer og dører [W/(m^2 K)]	$\leq 0,80$	0,80
5.	Andel vindus- og dørareal av oppvarmet BRA	$\leq 25\%$	25 %
6.	Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg	$\geq 80\%$	$\geq 80\%$
7.	Spesifikk vifteeffekt i ventilasjonsanlegg (SFP) [kW/(m^3 /s)]	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$
8.	Luftlekkasjetall pr. time ved 50 Pa trykkforskjell [h^{-1}]	$\leq 0,6$	$\leq 0,6$
9.	Normalisert kuldebroverdi, der m^2 angis som oppvarmet BRA [W/(m^2 K)]	$\leq 0,05$	$\leq 0,07$

Tabell 3.2: Energitiltak som alternativt til rammekravsmetoden kan utføres for å tilfredstille forskriftskravene (TEK10 §14-2 (2)).

Tiltaksmetoden kan (for boligbygg) som alternativ oppfylles ved å følge punktene 1-9 i Tabell 3.2. De ulike postene kan fravikes så lenge bygningens totale varmetapstall ikke overskrides. Ved SIMIEN beregninger regnes de ulike tapene fra postene om til varmetap i watt per oppvarmet BRA ved en temperaturforskjell på én grad mellom ute- og inneluft. Det er altså summen av disse varmetapene som ikke skal overskrides og en står fritt til å omfordele tapene mellom postene.

I tillegg er det også en del minstekrav som skal sikre en minste akseptabel kvalitet på enkeltkomponenter og bygningskroppen generelt. Kravene gjelder snittet til de ulike delene for hele bygget. Dette vil si at en for eksempel kan ha noen dører med høyere U-verdi enn 1,2

W/m^{2}K, så lenge snittet for alle vindu og dører holdes under kravet. Minstekravene i TEK10 §14-3 er gitt i Tabell 3.3.

U-Verdi yttervegg [W/(m^2 K)]	U-verdi tak [W/(m^2 K)]	U-verdi gulv på grunn og mot det fri [W/(m^2 K)]	U-verdi vindu og dør inkludert karm/ramme [W/(m^2 K)]	Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell [luftveksling pr. time]
$\leq 0,22$	$\leq 0,18$	$\leq 0,18$	$\leq 1,2$	$\leq 1,5$

Tabell 3.3: Minstekrav (TEK10 §14-3).

Kravene til energiforsyning er ikke en del av evalueringen opp mot krav i SIMIEN og må dermed dokumenters på en annen måte.

I følge TEK10 §14-4 annet ledd skal bygninger med over 1000 m^2:

(a) ha energifleksible varmesystemer, og

(b) tilretteleffes for bruk av lavtemperatur varmeløsninger.

Veiledningen til denne forskriften gir følgende presisering for ytelser som minst må være oppfylt:

1. Energifleksible systemer må dekke minimum 60 % av normert netto varmebehov, beregnet etter NS 3031:2014.

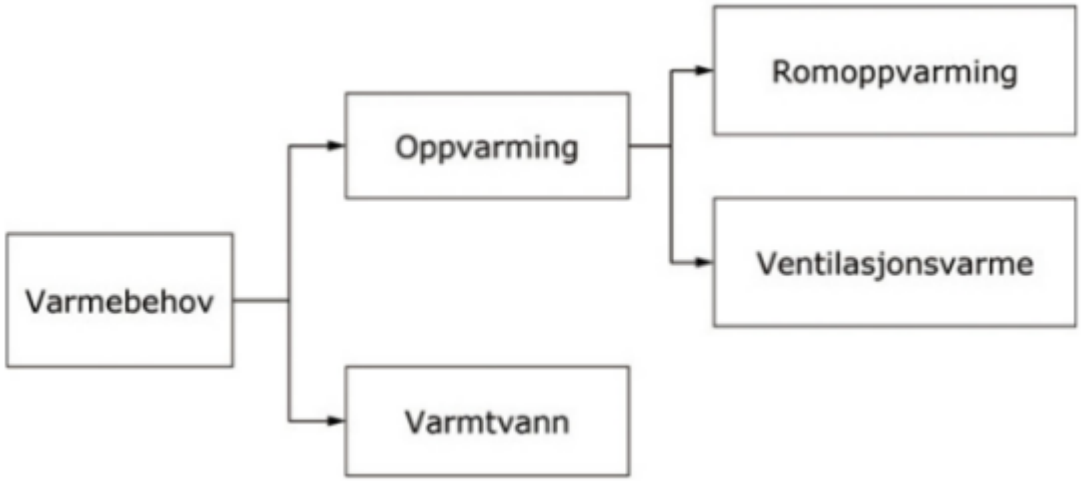
2. Lavtemperatur varmeløsninger må ha turtemperatur på 60°C eller lavere ved dimensjonerende forhold. Dette gjelder ikke for varmt tappevann.

3. Minimumareal avsatt til varmesentral skal beregnes etter formelen: 10 m^2 + 1 % av BRA, opptil 100 m^2.

4. Takhøyden i rom for varmesentral skal være minimum 2,5 meter.

5. Fri bredde for alle dører i transportveien inn til varmesentralen skal være minimum 1,0 meter.

Som nevnt tidligere er det spesielt endringen i 1. som undersøkes i denne oppgaven. Normert netto varmebehov er behovet for romoppvarming, ventilasjonsvarme og varmtvann (Figur 3.2) beregnet ut fra normerte (standardiserte) verdier i NS3031:2014.



Figur 3.2: Netto varmebehov. Kilde:DiBK

3.3 Nåverdimetoden

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

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

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

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

Kontantstrømmene som inngår i analysen skal være forventningsrette og all risiko formule-

res inn i diskonteringsrenten. Usikkerhetene rundt parameterne som inngår i nåverdianalysen beskrives derfor ikke særlig godt. For å belyse usikre parametere sin betydning på det endelige resultatet bør det utføres sensitivitetsanalyser.

Det kan tenkes at realoppsjonsmetoder kunne blitt brukt ettersom det er usikkerhet knyttet til fremtidige de kontantstrømmene og ettersom investeringsmulighetene er preget av irreversibilitet (”sunk cost”). Disse metodene passer derimot lite godt her på grunn av liten timingfleksibilitet og veldig dyr endringsfleksibilitet.

4. Data

4.1 Strømkostnader

Prisen på strøm er en viktig faktor for investeringsanalysen knyttet til valg av energisystem i et bygg. En høyere strømpris vil være til fordel for systemer som er energieffektive, ettersom disse ofte har en høyere investeringskostnad enn enklere systemer og er avhengige av at besparelsene i strømkostnadene over levetiden dekker denne startkostnaden. Vi er for tiden inne i en spennende tid for energimarkedet. På verdensbasis er det stort sett politisk enighet om å redusere CO_2-utslippene betydelig. For å få til dette er det blant annet viktig med en omlegging av markedet for strømproduksjon. Bruk av fossile brensler som kull og gass må reduseres og erstattes av fornybar kraft fra f.eks. sol, vind og vannkraft. Statnett (2016) har foretatt en analyse av den langsiktige markedsutviklingen i Norden og Nord-Europa frem mot 2040. Denne rapporten drøfter hovedtrender og usikkerhetsmomenter i fremtidens kraftmarked og gir et estimat på forventede kraftpriser. Analysen er foretatt for å gi et felles utgangspunkt for deres fremtidige analyser. I denne oppgaven legges det derfor stor vekt på deres resultater når kraftprisen for investeringshorisonten settes.

4.1.1 Kraftpris

Statnett (2016) argumenterer for at det er betydelig usikkerhet rundt fremtidige kraftpriser ettersom det er stor usikkerhet knyttet til fremtidig brensel og CO_2 priser, fornybarandel, kapasitetsmarginene og utvikling innen energilagring og forbruksfleksibilietet. Brensel og CO_2 priser vil i stor grad være prissettende i fremtiden og det forventes at marginalkostnaden på produksjon av strøm vil settes av gasskraftverk. Hovedproblemet ved omstilling fra varmekraftverk basert på fossile brensler til fornybar kraft fra sol og vind er at de er uregulerbare. Det vil si at vi i et fornybart kraftsystem vil ha mindre muligheter til å regulere kraftproduksjonen i forhold til etterspørsel fra markedet til enhver tid. I perioder med mye vind og sol vil vi få overproduksjon av kraft, mens vi i motsatt tilfelle vil måtte forsyne markedet fra de reguler-

bare energikildene. Fremtidens kraftsystem vil derfor være avhengig av overføringskapasitet mellom områder, lagringsmuligheter for strøm og endret bruksmønster på forbrukssiden. Overføringskapasitet vil gi større fleksibilitet på overføring av overkapasitet til områder med underkapasitet. Dette vil også gjøre at vi i Norge for en kraftpris som er tettere knyttet opp til det europeiske markedet og dermed høyere enn det vi har i dag. Lagringsmuligheter vil spille en viktig rolle for å gi noe reguleringsmuligheter for uregulerbar kraft. Til sist vil forbruksfleksibilitet også kunne hjelpe til ved at mer strøm brukes når det er overproduksjon og dermed gi et lavere behov i perioder der det tradisjonelt sett har vært høyt forbruk. En elektrisk bilpark i Europa vil for eksempel kunne lades om nettene og kanskje også gi tilbake deler av denne strømmen til nettet i perioder med stor etterspørsel.

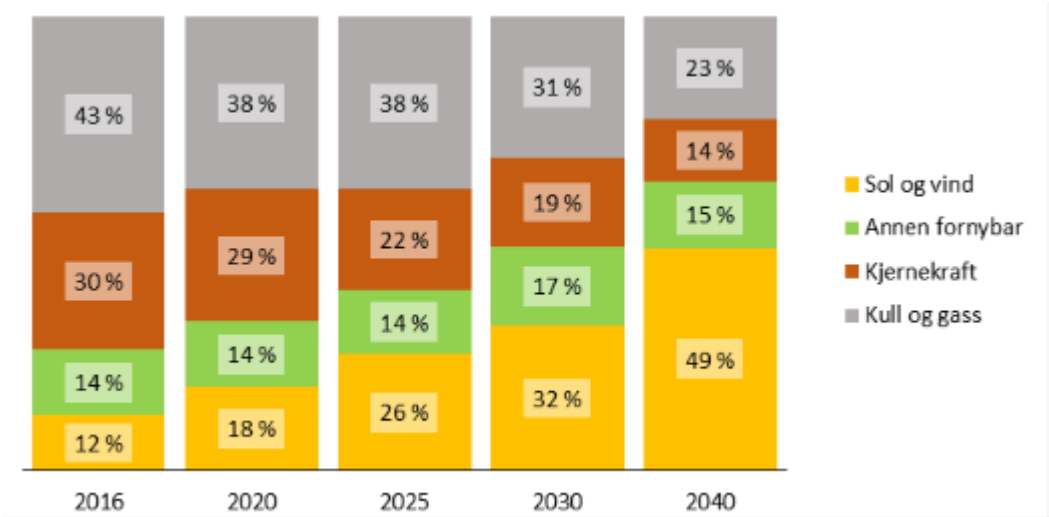
I rapporten til Statnett er det regnet på 3 scenarioer for prisutvikling; høyt, lavt og forventet. For denne oppgaven er det lagt størst vekt på forventningsscenarioet, men det vil også foretas sensitivitetsanalyser basert på høyere og lavere kraftprisutvikling. Det er verdt å merke seg at NVE (2017) kom med en lignende kraftmarkedsanalyse som Statnett (2016). Deres analyse inneholder mange av de samme forutsetningene, blant annet at kraftprisen i Norge vil styres av fossil- og CO_2-prisene i Europa. De tror derimot ikke på en like sterk prisvekst for disse innsatsfaktorene og får dermed også en del lavere økning i kraftprisen mot 2030 enn det Statnett skildrer.

	2017	2020	2025	2030	2040
Sør-Norge	27	31	39	44	43

Tabell 4.1: Forventet prisutvikling i €/MWh. Prisene er reelle 2016-tall Statnett (2016).

Fra Tabell 4.1 ser vi at Statnett forventer en kraftig prisvekst frem til 2030 og deretter en liten nedgang mot 2040. Lave priser på kull, gass og CO_2 har de siste årene ført til lave kraftpriser i Norge og resten av Europa. Statnett forventer at dette vil snu, mye på grunn av et politisk ønske om lavere utslipp, og dermed at marginalkostnadene for kull og gasskraftverk som har betydelige CO_2 vil stige betraktelig i tiden fremover. I forventningsscenartioet legger de blant annet til grunn en jevn økning i prisen på CO_2-utslipp fra dagens nivå på 5 €/tonn til 25 €/tonn i 2040. Stabiliseringen i kraftprisen mellom 2030 og 2040 kommer av at det ved disse prisnivåene vil være lønnsomt å investere i fornybar sol- og vindkraft. Det forventes derfor her at kull og deler av gasskraftverkene vil bli faset ut i denne perioden. Prisveksten til NVE

ville antageligvis fortsatt å steget til samme prisnivå som Statnett kommer med (rundt 45 øre/kWh), hvis de hadde fremstilt lengre utsikter enn til 2030. Dette på grunn av prisnivået, skildret i Statnett (2016), hvor investering i mer sol- og vindkraft blir lønnsomt.

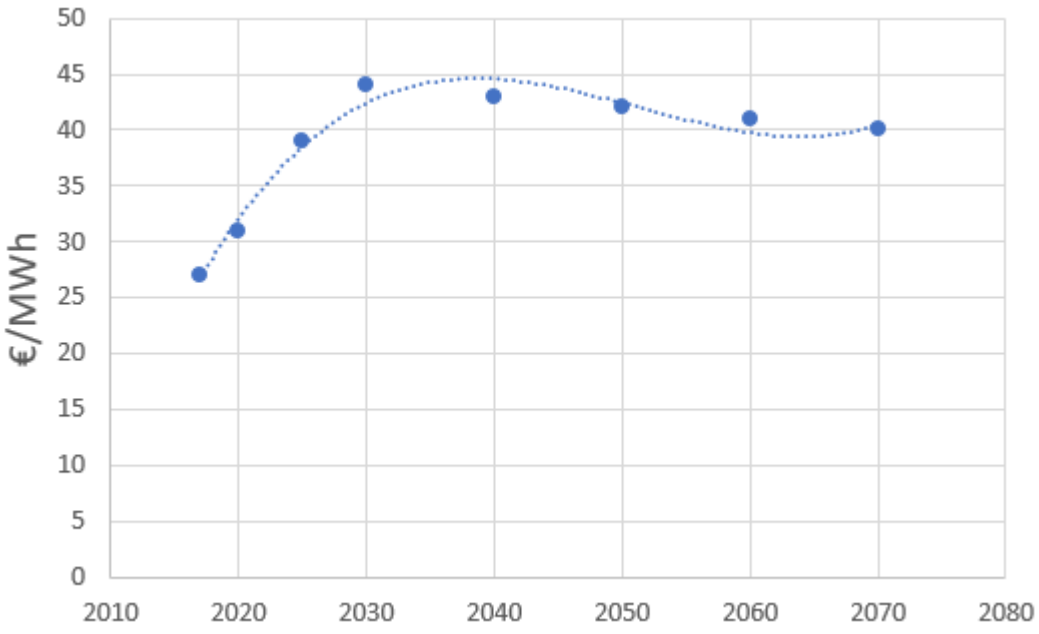


Figur 4.1: Forventet produksjonssammensetning i EU10[1] for simuleringen av forventnings-scenarioet til Statnett (2016).

Statnett (2016) sier at sol- og vindkraft i dag fremstår som vinneren for kraftproduksjon uten utslipp av klimagasser, i kamp mot f.eks. kjernekraft og CCS (Carbon Capture and Storage). Dermed har de i sitt forventningsscenario simulert med en produksjonssammensetning som i Figur 4.1.

Endringen i fornybarandel vil gjøre at den kortsiktige volatiliteten i kraftprisene vil øke en del mellom 2030 og 2040. Grunnen til dette er de nevnte problemene med uregulerbar fornybar kraft og nedleggelse av de mer regulerbare varmekraftverkene. Prognosene frem mot 2030 anser Statnett for å være ganske sikre, ettersom de forventer at de kortsiktige politiske klima-målene vil bli oppnådd. Naturlig nok er de mer usikre på prognosene lengre frem i tid. Her er det store teknologiske usikkerheter knyttet til den nevnte utviklingen av lagringsmuligheter og forbruksfleksibilitet.

[1] EU10 er Statnetts egen forkortelse for landene som er detaljert beskrevet i deres markedsmodell, med unntak av Norden og Baltikum. Dvs. Tyskland, Polen, Tsjekkia, Slovakia, Østerrike, Sveits, Italia, Frankrike, Benelux og Storbritannia.



Figur 4.2: Forventet krafprisutvikling mot 2070. Prisene er her reelle 2017-tall.

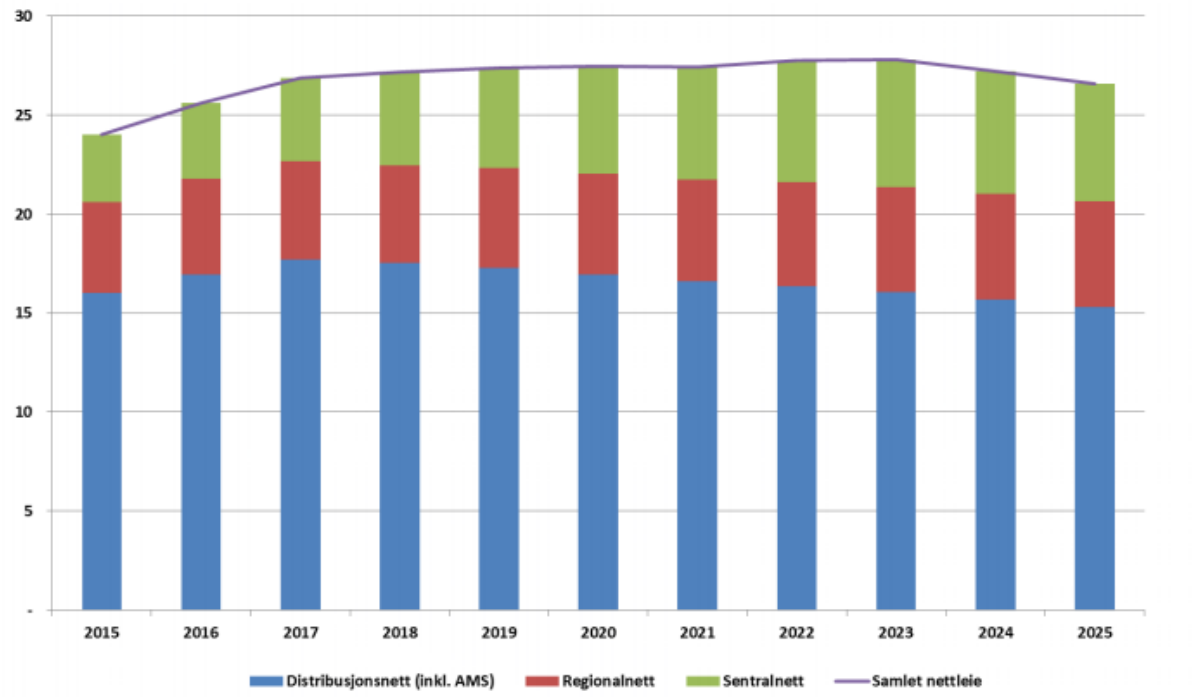
Ut fra tallene i Tabell 4.1 er det i Figur 4.2 laget en forventet prisutvikling for de neste ca 50 årene. Tallene fra Satnett (2016) strekker seg bare til 2040, deretter har jeg lagt inn en liten nedgang på 1 €/MWh (som for 2030-2040) per tiår frem til 2070. Dette mener jeg er fornuftig ettersom teknologisk utvikling, erfaring og optimalisering av det nye kraftmarkedet bør gjøre at vi klarer å utnytte den uregulerte kraften bedre og bedre. Nøyaktighet i de nærmeste prisene har størst betydning for resultatene til en investeringsanalyse ettersom kontantstrømmene her diskonteres mindre. Dermed vil ikke unøyaktigheter knyttet til denne forenklingen ha for store konsekvenser for analysen utført i denne oppgaven.

Når det kommer til valutakurs for å konvertere prisene til øre/kWh er det derimot ikke tatt hensyn til at de nærmeste tallene skal være mest mulig korrekte. Det er her brukt snittkursen fra 1999 (når EURO kom på markedet) til og med mars 2017. Dette ble gjort ettersom investeringshorisonten er lang og fordi valutakursen er historisk høy for tiden på grunn av en svak norsk krone. I forhold til investeringsanalysen vil dette være til fordel for løsningene med høyt energibehov. På bagrunn av historiske tall fra Norges-Bank (her) ble gjennomsnittskrusen beregnet til 8,2 NOK/EUR. Tallrekken for kraftpris er deretter justert til 2017-priser ved bruk av konsumprisindeksen (KPI).

4.1.2 Nettleie

Som nevnt er fremtidens kraftmarked avhengig av store utbedringer i overføringskapasitet mellom landene i Europa. Ettersom Norge bygger overføringskapasitet til f.eks. Storbritannia og Tyskland vil også nettleien for forbrukere i Norge kunne øke. Det har vært diskusjoner i media den siste tiden på hvor stor økningen i nettleien vil være som følge av denne utbyggingen (e24, 2016 (her)), (VG, 2016 (her)), (VG, 2017 (her)). På den ene siden argumenteres det for at økningen vil være betydelig ettersom kostnadene til vedlikehold av kraftnettet vil falle på forbrukere i Norge som nettleieøkning, mens gevinsten av å ha overføring mellom landene vil gå rett til eierne av nettet. Statnett med andre mener derimot at store deler av kostnadene til utbyggingen av kraftnettet vil betales av gevinstene fra å utnytte markedsfordelen det norske markedet har mot resten av Europa. Norges store andel regulerbar og fornybar vannkraft vil i perioder kunne gi store gevinster ved handel med utlandet. Etter min mening er utbygging av denne kapasiteten uunngåelig i fremtidens kraftsystem. Det er viktig å passe på at statlige aktører står for denne utbyggingen eventuelt at private aktører reguleres. Dette for å forhindre at vi får en situasjon der kunden sitter igjen med nedsiden, mens private aktører sitter på gevinsten.

Nettleien har de siste 10 årene hatt en svak men jevn oppgang på ca 1% i året (Egeli, 2016). Energi Norge opplyser til VG at nettleien vil stige med ca. 30% fra 2015 til 2020 (tilsvarer en årlig oppgang på ca. 5%). De har ikke prognoser for nettleien i 2030. En ekspertgruppe fra Olje- og energidepartementet kom i 2014 med rapporten "Et bedre organisert strømnett" (Olje- og energidepartementet, 2014). Her argumenteres det for at de planlagte oppgraderingene og utbyggingene av regional-, distribusjons- og sentralnettet vil føre til at den årlige nettleien vil øke med mellom 30 og 50 prosent de neste 10 årene fra 2014. Denne utbedringen mener de er nødvendig for å sikre høy forsyningssikkerhet på strømforsyningen fremover. De peker på "Behov for fornying og oppgradering av eksisterende nett, befolkningsvekst og urbanisering, investeringer i fornybar kraft og økt forbruk. I tillegg er det redusert aksept for avbrudd og økt sårbarhet dersom avbrudd faktisk inntreffer." som årsak for denne utviklingen. I denne rapporten kommer det heller ikke prognoser for nettleien i 2030 og utover. Jeg legger til grunn at prosentsatsene som er presentert over gir de nominelle verdiene frem i tid.



Figur 4.3: Utvikling i gjennomsnittlig nettleie fram til 2025 fordelt på hvor stor andel hvert nettnivå utgjør i prisen (øre/kWh). Prisene er reelle 2014-tall. Kilde: Energi Norge (her)

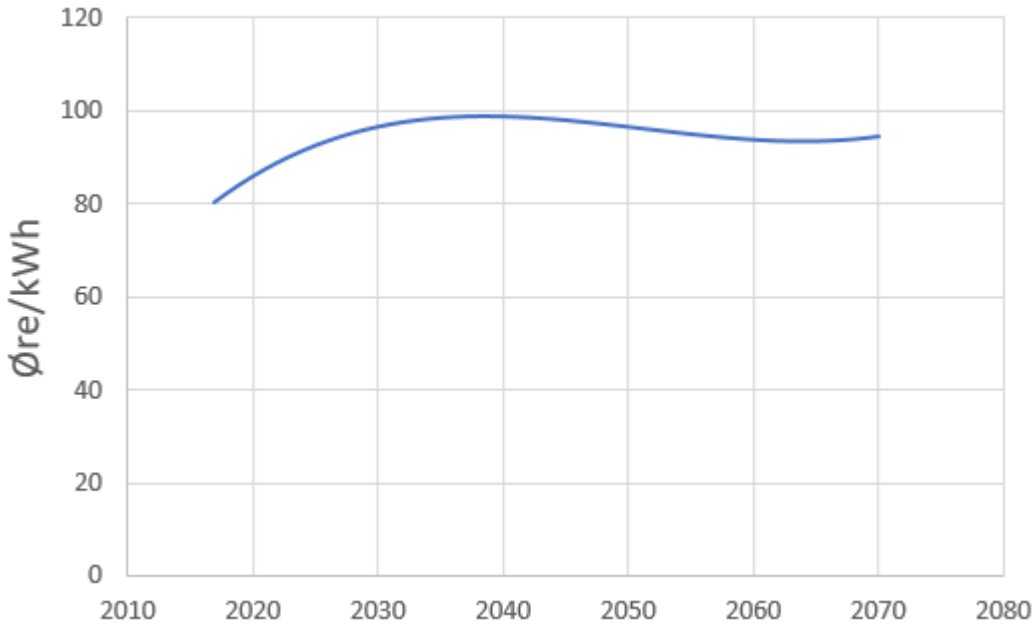
Energi Norge presenterer med Figur 4.3 derimot en utvikling mot 2025 i reelle øre/kWh. Fra denne ser vi at det vil være en oppgang frem mot 2023 (som i OEDs rapport) og deretter en liten nedgang. Bakgrunnen for denne nedgangen er en antagelse om reduserte investeringer i sentralnettet etter 2023, samt reel nedgang i nettleie for distribusjonsnettet fra 2017. De forklarer blant annet denne endringen i nettleie fra distribusjonsnettet med at forbruket øker, og at dermed nettleien per kWh, som netteierne trenger for å drifte nettet, synker. På bakgrunn av Figur 4.3 ser det ut som at nettleien vil ha en utvikling rundt 25 øre/kWh i reelle 2014-tall. KPI justeres dette til 2017-tall blir det omtrent 27 øre/kWh, noe som blir forutsetningen for den reelle nettleiekostnaden for hele investeringshorisonten i denne oppgaven.

4.1.3 Avgift på strøm

I Norge har vi, i tillegg til vanlig moms, en el-avgift som normalt settes av staten en gang i året. Denne avgiften ble i 2016 satt til ca 16 øre/kWh. I 2006 var nivået på 10 øre/kWh. Dette tilsvarer en gjennomsnittlig årlig økning på ca 5%. Bakgrunnen for denne økningen er trolig en kombinasjon av de siste årenes lave strømpriser og det at det er politisk motivasjon

for å redusere energibruk og klimautslipp. Hvordan utviklingen i el-avgiften vil være over en investeringshorisont på 50 år er vanskelig å predikere, men det kan argumenteres for at behovet og politiske argumenter for en høy el-avgift blir svekket ved en omstilling av kraftmarkedet som beskrevet i denne oppgaven. Til investeringsanalysen settes nettleien til 15 øre/kWh i reelle 2017-tall. Merverdiavgiften holdes slik den der i dag på 25%. Denne avgiften beregnes ut fra summen av prisen for kraft, nettleie og el-avgift.

4.1.4 Total strømpris



Figur 4.4: Den totale estimerte strømprisen frem mot 2070 (øre/kWh, reelt).

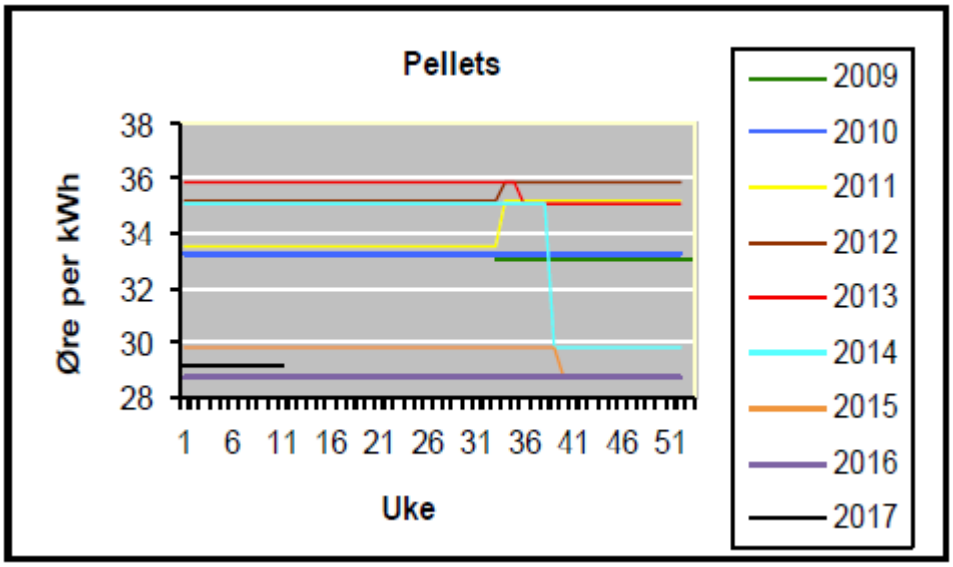
Ut fra estimeringene og forenklingene presentert over er det kommet frem til en utvikling for den totale strømkostnaden per kWh frem til 2070. Som en kan se fra Figur 4.4 er forventningen at prisene vil stige til omtrent 100 øre/kWh i 2040 før den etterpå vil synke litt og stabilisere seg rundt 95 øre/kWh.

4.2 Fjernvarmepris

De ulike fjernvarmeleverandørene setter energiprisene sine på forskjellig måte. Noen opererer med et fastledd i tillegg til en variabel kostnad, mens andre inkluderer fastleddet til én pris per kWh. Det leveres også flere typer kontrakter, slik at kunden selv kan velge hva som er

best i forhold til eget forbruk. Prisen på fjernvarme er regulert etter energiloven § 5-5 der det blant annet står: "Prisen for fjernvarme skal ikke overstige prisen for elektrisk oppvarming i vedkommende forsyningsområde". Hafslund skriver på sine sider at en ved fjernvarme får 2% lavere kostnader i forhold til bruk av elektrisitet. Hafslund og andre leverandører av fjernvarme vil altså justere prisene sine etter strømprisene. For denne oppgaven settes dermed prisen per kWh for fjernvarme til 98% av den totale strømprisen estimert i Figur 4.4.

4.3 Biopellets



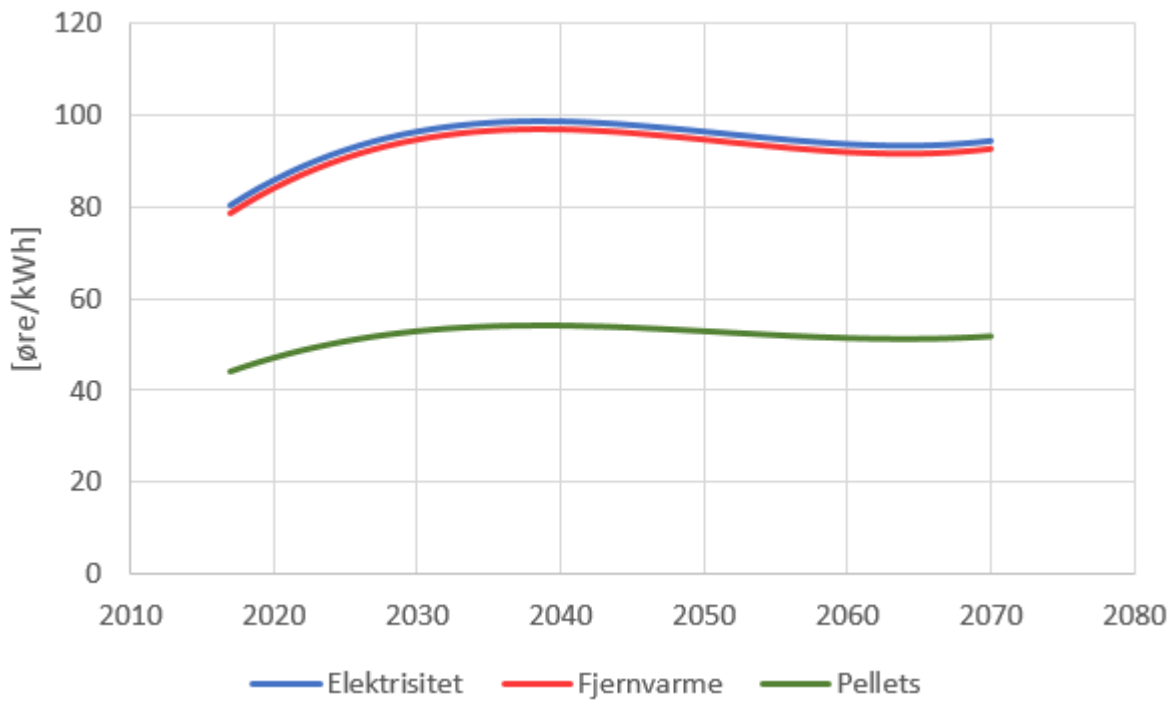
Figur 4.5: Pelletspriser i øre per kWh ekskl. MVA. Kilde: Energirapporten Årgang 14 Nummer 10 - 2017.

Det er også variasjoner i prisen for pellets mellom ulike leverandører i Norge og Sverige. I tillegg kommer det transportskostnader fra produksjonsanlegget til bygget. Fra Figur 4.5 kan vi se at prisene på pellets har holdt seg relativt stabile de siste årene, rundt 34 øre/kWh ekskl. MVA. Dette er priser for kjøp i større kvantum (bulk) som vil være naturlig for et bygg for å få lavest mulig kostnader. Prisene per kwh er her regnet ut fra en kilopris på pellets og med et energiinnhold på 4,8kWh/kg.

Det er rimelig å anta at pellets også vil følge prisene i energimarkedet fremover, ettersom de konkurrerer med fjernvarme og elektrisitet. Det brukes også litt energi av ulike slag til produksjon og transport av pelletsen slik at marginalkostnadene vil stige ved høyere energi-

priser. På bakgrunn av dette ble det derfor valgt å bruke dagens pris inkl. MVA og transportkostnad på 5 øre/kWh til å regne ut en prosentsats i pris for pellets i forhold til strøm. Dette resulterte i en pelletspris på 55% av den totale strømprisen. Energi fra biopellets vil dermed være betydelig billigere per kWh levert i forhold til de to andre alternativene.

4.4 Energipriser til investeringsanalysen



Figur 4.6: Prisene per kWh levert energi for de ulike energibærerne brukt i videre analyser.

Figur 4.6 presenterer tallrekken for de årlige enhetskostnadene til energikildene brukt i denne analysen. Energiprisene vil ha stor betydning for kontantstrømmene i investeringsanalysen og det vil derfor bli gjennomført sensitivitetsanalyser ved å endre på utviklingen i disse prisene.

4.5 CO_2-faktorer

Miljøpåvirkningen i gram CO_2 per forbrukt kWh for de ulike energikildene er det lite enighet om i Norge. Dette gjelder spesielt elektrisitet, hvor det opereres med tall fra omtrent 1000 g/kWh til omtrent 10 g/kWh. 1000 g/kWh representerer miljøpåvirkningen av å produsere

strøm med kullkraft. Det finnes argumenter for at en hver kWh som spares i Norge gir tilsvarende reduksjon i den minst miljøvennlige kraftproduksjonen i Europa, altså kullkraft, og at marginalutslippene for merforbruk av strøm dermed faktisk er så høyt som 1000 g/kWh.
Det kan derimot også argumenteres for at den norske strømmen ikke kommer fra kullkraft, men fra vannkraft og annen fornybar kraftproduksjon. NVE opplyser i sin varedeklarasjon for 2015 (her) at 98% av norsk kraftproduksjon i 2015 kom fra fornybare kilder, at vannkraft har en CO_2-faktor på 7 g/kWh og at CO_2-faktoren for norsk kraft samlet er 17 g/kWh.

I 2001 innførte EU en ordning som skulle gi kundene mulighet til å kjøpe fornybar kraft (NVE, her). Disse såkalte opprinnelsesgarantiene skulle gi forbrukerne et valg mellom fornybar eller ikke-fornybar kraft, samtidig skulle kraftprodusenter få en ekstra inntekt på sin fornybare kraft. Det er kraftleverandørene som kjøper disse opprinnelsesgarantiene fra produsenter av fornybar kraft og dermed kan garantere kundene sine at det produseres fornybar kraft som dekker forbruket deres.

Varedeklarasjonen til NVE opplyser om at mesteparten av opprinnelsesgarantiene som blir utstedt til norske kraftprodusenter blir solgt til kontinentet. Selv om den norske kraftproduksjonen så og si fullstendig kommer fra fornybar kraft vil altså strømmen vi bruker være uren, om en ikke da selv betaler ekstra for strøm med opprinnelsesgarantier. Det er i stor grad den norske strømmen vi fysisk bruker, men det kan ikke være slik at noen i utlandet kjøper seg god samvittighet gjennom disse opprinnelsesgarantiene mens vi i Norge fortsetter i den tro at vår strøm er ren. I henhold til varedeklarasjonen til NVE blir så mye som 85% av kraftkjøpene i Norge kjøpt uten opprinnelsesgarantier. Denne kraften kommer da i henhold til varedeklarasjonen (på papiret) fra 57% fossil varmekraft, 31% kjernekraft og bare 12% fornybar kraft. Strømmen er ikke så ren som vi tror med andre ord.

	CO_2-faktor [g/kWh]		
Energikilde	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3
Elektrisitet	395	175	17
Fjernvarme	231	125	50
Bioenergi	14	14	14

Tabell 4.2: CO_2-faktorer for de ulike energikildene brukt i denne oppgaven.

Som en kan se fra Tabell 4.2 vil denne oppgaven ikke basere seg på en forutsetning om at marginalutslippene kommer fra kullkraftverk. Grunnen til dette er at det kanskje ville vært en urimelig forutsetning knyttet til bruk av elektrisitet som oppvarmingskilde å sette utslippene så høyt, men også ettersom det ikke nødvendigvis er kullkraftproduksjonen som reduseres/økes ved endring i forbruk av elektrisitet. Det er blant annet politiske faktorer knyttet til arbeidsplasser i land som for eksempel Polen samt kvotesystemet EU ETS som styrer nivået på kullkraftproduksjonen. Kvotesystemet er i henhold til miljostatus.no (her) satt opp slik at en kvotepliktig bedrift som kan redusere utslippene sine mer kostnadseffektivt enn andre, kan selge sine overskuddskvoter til andre kvotepliktige bedrifter. Dermed er tanken at det settes en øvre grense på CO_2-utslippene fra kvotepliktig sektor ved å begrense antall kvoter og så vil utslippene kuttes der det koster minst gjennom at kvotene omsettes fritt i markedet. Bygg og energiforsyning tilhører i henhold til miljødirektoratet ikke-kvotepliktig sektor og besparelser i utslipp her vil dermed ikke gå under utslippene til kvotesystemet.

CO_2-faktorene under Alt. 1 i Tabell 4.2 er like verdiene SIMIEN bruker. Disse er basert på verdier fra prNS 3700 *Kriterier for lavenergi- og passivhus- Boligbygninger* og samsvarer også godt med verdiene brukt av Lindberg et al. (2016b). Her tas det utgangspunkt i at marginalkraften kommer fra gasskraftverk i Europa med 58% virkningsgrad og uten CO_2-håndtering. Sammenlignet med varedeklarasjonen til NVE er dette noe lavere enn utslippene for kraft kjøpt uten opprinnelsesgarantier, men likevel så nær at denne CO_2-faktoren her også kan representere denne forutsetningen. Under alternativ 2 er utslippene fra strømforbruk basert på nordisk kraftmiks, som elbil.no (her) oppgir at er hentet fra NVEs varedeklarasjon i 2013. For det siste alternativet er det brukt verdien som ble nevnt tidligere for norsk kraft.

Verdien i Alt. 1 fjernvarme er basert på større fjernvarmenettverk hvor de benytter ulike brensler til avfallsforbrenning. For Alt. 2 og Alt. 3 er utslippene justert ned ettersom faktorene for elektrisitet også synker. Dette virker naturlig for å gjøre resultatene for fjernvarme mer sammenlignbare når en også lemper på forutsetningene for utslippene fra strøm. Fjernvarme kan også komme fra bruk av elektrisitet (f.eks. varmepumper) og dermed gi grunnlag for at fjernvarmeutslippene endres om forutsetningene for bruk av elektrisitet endres.

Når det gjelder bioenergi er CO_2-faktoren hold konstant lik 14 g/kWh for alle tre alternative-

ne. Lindberg et al. (2016b) og SIMIEN opererer her med eksakt samme verdi. Bioenergi gir som nevnt ikke noe særlig netto CO_2 utslipp ettersom det allerede kommer fra atmosfæren. Det vil likevel produseres CO_2 ved forbrenning slik at det vil kunne komme lokale forurensningsproblemer ved stort forbruk i tettbebygde områder.

Selv om det ikke tas hensyn til i denne oppgaven så bør den forventede produksjonssammensetningen i Figur 4.1 også nevnes i sammenheng med CO_2-faktorene. Her skildres et forventningsscenario hvor mer og mer av europeisk kraftproduksjon kommer fra fornybare energikilder. Dette medfører lavere CO_2 utslipp fra europeisk kraftproduksjon og kanskje også lavere CO_2-faktorer for elektrisitet i fremtiden gitt at marginalutlippene ikke fortsatt er fra gasskraftverk.

4.6 Systemvirkningsgrader

De totale systemvirkningsgradene for de ulike energisystemene er lik produktet av produksjonsvirkningsgraden, distribusjonsvirkningsgraden og avgivningsvirkningsgrad. Det vil for eksempel i et vannbårent system være varmetap i vannrør som frakter varmtvann fra varmesentralen og rundt til rommene hvor varmen skal avgis. I tillegg vil ikke all varmen i varmtvannet overføres til rommet slik at det også her er noe tap.

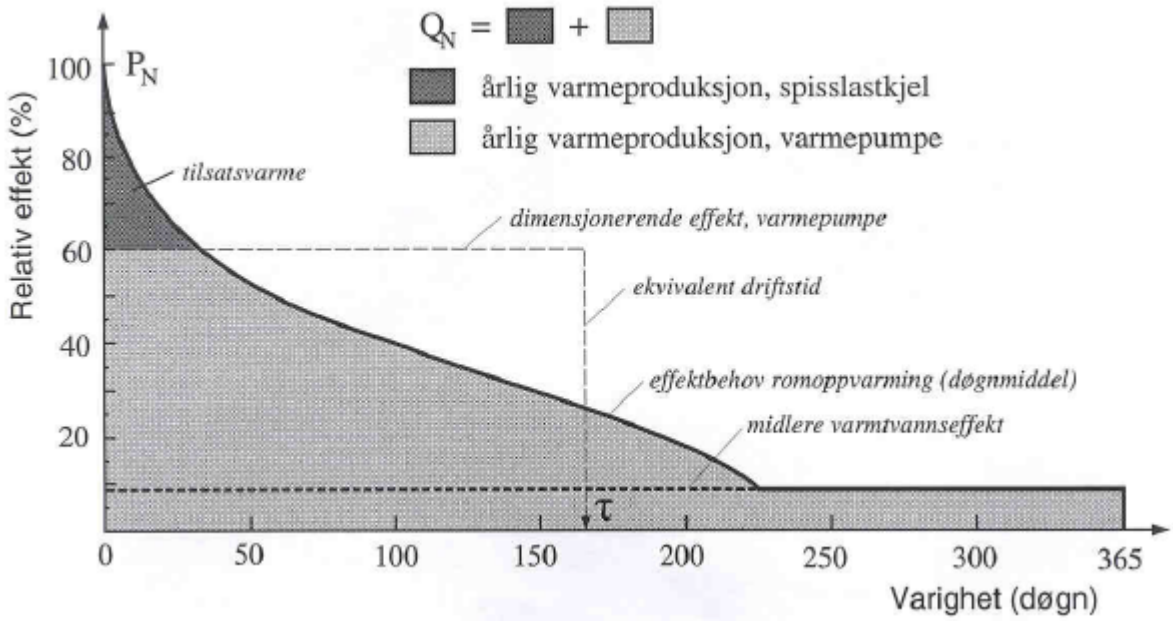
Energiløsning	Systemvirkningsgrad romoppvarming	Systemvirkningsgrad ventilasjonsoppvarming	Systemvirkningsgrad varmt tappevann
Direktevirkende elektrisitet	0,92	0,89	0,97
El-kjel	0,85	0,89	0,97
Luft/vann varmepumpe	2,10	2,21	2,4
Væske/vann varmepumpe	2,62	2,76	3,0
Biopellets	0,67	0,71	0,77
Fjernvarme	0,86	0,9	0,98

Tabell 4.3: Systemvirkningsgrader for romvarme, ventilasjonsvarme og varmt tappevann ved de ulike oppvarmingssystemene.

Systemvirkningsgradene i Tabell 4.3 er regnet ut fra verdier gitt av NS 3031:2014. Virkningsgradene for ventilasjonsoppvarming og varmt tappevann er satt lik for energiløsningene di-

rektevirkende elektrisitet og el-kjel ettersom det også for løsningen med mest mulig direktevirkende elektrisitet vil benyttes el-kjel og vannbåren ventilasjonsvarme til oppvarming av varmt tappevann og ventilasjonsluft. For de vannbårne romoppvarmingssystemene er det brukt en distribusjonsvirkningsgrad på 0,96 og en avgivningsvirkningsgrad på 0,91. Dette er tall for vannbårne varme via radiator med turtemperatur rundt 45 °C.

4.7 Dekningsgrader



Figur 4.7: Prinsipiell fremstilling av varmepumpens effekt- og energidekning med grunnlasten fra en varmepumpe i lysegrått og spisslasten fra en el-kjel i mørkegrått. Kilde:(Stene, 2000)

Figur 4.7 illustrerer forholdet mellom effektdekning og energidekning for varmeproduksjon med varmepumpe som grunnlast og en kjel som spisslast. Effektdekningen til varmepumpen i % av maksimalt effektbehov vises på y-aksen, mens energidekningen er det lysegrå arealet i forhold til arealet under hele varighetskurven. En tommelfingerregel innenfor varmepumpenæringen sier at hvis grunnlasten dekker 40-70% av maksimalt effektbehov (avhengig av hvor spiss varihetkurven er ved y-aksen), så vil den dekke ca 90-95% av det totale energibehovet over et helt år. Grunnen til dette er at det dimensjonerende effektbehovet er regnet ut fra den kaldeste perioden i året og dette behovet vil ikke være nødvendig i lange perioder.

I forhold til Figur 4.7, hvor hele varmtvannsbehovet er dekket av varmepumpen, blir forholdet mellom effektdekning og energidekning litt annerledes når varmepumper ikke varmer vannet helt opp til temperaturen varmtvannet bør ha. Varmepumper har ofte ikke like gode virkningsgrader hvis temperaturløftet blir for stort og det er derfor ganske vanlig at varmepumpen bare forvarmer varmtvannet.

De ulike oppvarmingssystemenes dekningsgrader for romoppvarming, ventilasjonsvarme og varme til varmtvann kan variere en del og er avhengige av hvordan hele systemet utformes og driftes. For eksempel finnes det varmepumper som kan levere varme på over 70 °C og derfor egner seg godt til oppvarming av varmtvann. I denne oppgaven er derimot investeringskostnadene beregnet for varmepumper som leverer varme på ca 50°C (NVE, 2016). Varmepumpen vil dermed i denne analysen bare forvarmer varmtvannet til akkumuleringstankene, før vannet så blir varmet opp med elektrisitet til de ca 70°C varmtvann bør ha. I samtale med en rådgiver fra Norconsult ble det imidlertid påpekt at ettersom hele effektbehovet svært sjeldent blir brukt til oppvarming, er det tilstrekkelig å kun dimensjonere for varmetapet. En kan slå varmekilden over til å bare varme opp varmt tappevann i korte perioder der lagrene er lave uten at dette vil ha stor betydning for temperaturen i bygget. Dette er lagt til grunn ved beregning av dimensjonerende effektbehov senere i oppgaven.

Systemløsninger		Energidekningsgrad Grunnlast			Energidekningsgrad Spisslast			Effektdekningsgrad	Effektdekningsgrad
Grunnlast	Spisslast	Rom	Vent	VV	Rom	Vent	VV	Grunnlast	Spisslast
Dir. El	-	100%	100%	100%	0%	0%	0%	100%	0%
El-kjel	-	100%	100%	100%	0%	0%	0%	100%	0%
L/V VP	El	95%	95%	60%	5%	5%	40%	60%	100%
V/V VP	El	95%	95%	60%	5%	5%	40%	60%	100%
FV	-	100%	100%	100%	0%	0%	0%	100%	0%
Bio	-	100%	100%	100%	0%	0%	0%	100%	0%

Tabell 4.4: Dekningsgradene for energibehov og effektbehov brukt i videre beregninger. Det er bare varmepumpesystemene som vil ha en spisslast.

I Tabell 4.4 er dekningsgradene for effekt og energi brukt i analysen listet opp. Det er som nevnt noe usikkerhet rundt disse verdiene, og andre dekningsgrader er også mulige. Alle energikildene utenom varmepumpene blir dimensjonert til 100% av effektbehovet og uten

spisslast. Varmepumpene blir dimensjonert til å dekke 60% av effektbehovet og med elektrisk oppvarming (el-kjel) som spisslast. Spisslastkjelen dimensjoneres til 100% av den dimensjonerende effekten. Dermed kan den om nødvendig ta opp til hele oppvarmingsbehovet på den kaldeste dagen, når spesielt luft/vann varmepumpen sliter med det høye temperaturløftet, og fungere som en sikring om varmepumpen skulle falle ut. Ekstrakostnadene for økt effekt til kalde perioder er relativt liten for alle løsningene utenom varmepumpene og en merinvestering i ekstra effektdekning vil dermed ikke koste mye.

4.8 Investeringskostnader

Når det gjelder investeringskostnadene til ulike energiforsyningsanlegg og distribusjonssystemer er det store forskjeller mellom ulike kilder, spesielt for distribusjonssystemene (Asplan Viak, 2016). Det er også klart at investeringskostnadene vil ha mye å si for lønnsomhetsanalysen og at de derfor bør være så riktige som mulig. Det er vanskelig å finne konkrete tall på investeringskostnader som skal gjelde for alle bygg og alle løsningene. Estimater på kostnadene settes ofte ut fra erfaringstall til aktører i markedet og de er nok ofte påvirket av preferansen til de ulike aktørene. Varmenæringen vil typisk operere med lavere kostnader for vannbåren varme og varmepumper enn det elektronæringen kommer med.

Til analysen i denne oppgaven er det derfor brukt de samme tallene som i utredningen til Asplan Viak (2016), ettersom deres resultater har vært ute til høring og aktører fra begge næringene har fått komme med innspill. For energiforsyningsanleggene kommer kostnadene i hovedsak fra NVE (2015) *Kostnader i energisektoren*, mens det er listet opp ulike verdier fra ulike kilder når det gjelder distribusjonssystemene. Asplan Viak (2016) har derimot ikke gitt noen nærmere forklaring på hvilke verdier som ble brukt i beregningene. Jeg har derfor her, etter beste evne, prøvd å komme frem til verdiene Asplan Viak faktisk brukte ut fra det som er skrevet i utredningen.

De har heller ikke oppgitt investeringskostnader for væske/vann varmepumper (med brønnpark). Argumentasjonen for dette er blant annet at en slike løsning ikke vil bli valgt av beslutningstakere som er sensitive for høye investeringskostnader. Gjennom hele sin utredning fokuserer Asplan Viak på disse utbyggerne og mulige løsninger de ville velge mellom ved ulike

%-satser for krav til energifleksibilitet. Investeringskostnaden for væske/vann varmepumper ble hentet fra samme kilde (NVE, 2015) som Asplan Viak brukte for luft/vann varmepumper. Brønnparken vil ha en høy investeringskostnad, men vare ut byggets levetid og dermed ikke kreve etterinvesteringer ved endt levetid for varmepumpen. Levetiden til de tekniske løsningene (utenom fjernvarme) er satt til 17 år slik at det skal gå opp med en investeringshorisont på 50 år. Dette vurderes som en rimelig antakelse for levetidene. Distribusjonssystemene og lageret for biopellets har på linje med brønnparken samme levetid som bygget.

Anlegg	Variabel kostnad [kr/kW]	Fast kostnad [kr]	Referanse
El-kjel	1 405	Inkl	NVE (2015)
Biokjel (inkl lager)	7 320	Inkl	NVE (2015)
L/V VP	6 760	Inkl	NVE (2015)
V/V VP	15 222	Inkl	NVE (2015)
FV	500	100 000	Hafslund og Lyse

Tabell 4.5: Enhetskostnader for energiforsyningsanlegg.

De variable kostnadene i Tabell 4.5 er basert på anlegg i størrelsesorden rundt 150kW. NVE (2016) ga tall på anlegg i størrelsesorden 10kW, 150kW og 1 000kW og i forhold til denne oppgaven er det da 150kW tallene som bør passe best. Det var helst de minste anleggene som skilte seg ut i pris per kW. Mellom 150kW og 1 000 kW alternativene var det relativt liten forskjell.

Tidligere i oppgaven ble det sagt at ekstrakostnadene for økt effekt er relativt liten for alle løsningene utenom varmepumpene. Dette samsvarer ikke helt med den høye variable kostnaden for biokjeler i Tabell 4.5. Den variable kostnaden inkluderer her også kostnadene knyttet til bygging av lager for pellets. Lageret vil ikke nødvendigvis måtte være så mye større om selve biokjelen også dekker spisslasten til oppvarmingsbehovet. Ettersom grunnlaget for denne variable kostnaden ikke er godt kjent forutsettes det at den er som i Tabell 4.5 ved investering i år 0, mens den ved reinvestering er brukt en vesentlig lavere kostnad. Det vil kommes tilbake til reinvesteringskostnadene som benyttes for biokjelen og varmepumpen med brønnpark senere i oppgaven.

Fastleddet til investeringskostnadene for fjernvarmeanlegg er etter samtale over telefon med

Lyse (fjernvarmeleverandør i Stavangerområdet) justert opp til 100 000 kr fra 50 000 kr. Lyse poengterer også at det vil være store forskjeller fra bygg til bygg, blant annet basert på forbruk og avstand til fjernvarmenettet. Asplan Viak skriver at deres fastledd (hentet fra Hafslund) er en minimumspris.

Kostnadspost	kr/m^2
Distribusjon varmt tappevann	100
Vannbårent varmebatteri	33 (100)
Vannbåren romvarme	450
El-varme	193

Tabell 4.6: Kostnader for distribusjonssystemene brukt i denne analysen. Kilde:Asplan Viak (2016)

Tabell 4.6 viser kostnadene per kvadratmeter oppvarmet BRA for de ulike distribusjonssystemene. Tallene er basert på erfaringstall fra Asplan Viak (2016) og gjelder standard anlegg for bolig. Med unntak for kostnaden tilknyttet vannbårent varmebatteri vil de samme kostnadene brukes for sykehjemmet og boligblokken. Kostnaden for vannbårent varmebatteri til sykehjemmet (tall i parentes) er satt nærmere det Asplan Viak mener gjelder for kontor- og forretningsbygg. Forskjellen i kostnadene for vannbårent varmebatteri kommer av at behovet for ventilasjonsluft er mye større i sykehjemmet enn i boligblokken og dermed vil det også være nødvendig med større anlegg. Kostnaden for elektriske varmebatterier er ikke inkludert ettersom denne løsningen ikke vil bli brukt i denne analysen.

4.9 Drift- og vedlikeholdskostnader

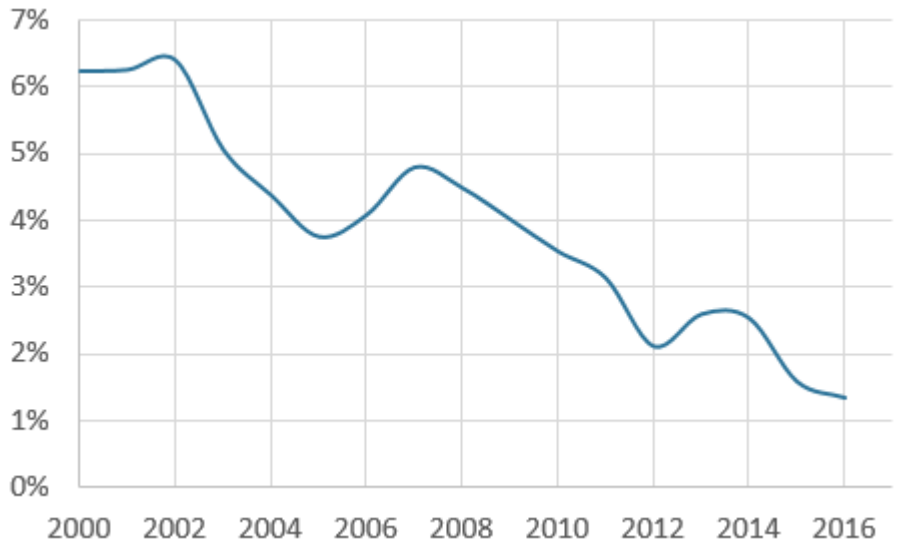
Anlegg	Prosentsats for D&V av investeringskostnad
El-kjel	2%
L/V VP	2%
V/V VP	2%
FV	0%
Bio	4%
Øvrige	1%

Tabell 4.7: Drift og vedlikeholdskostnader i prosent av investeringskostnaden.

Drift- og vedlikeholdskostnadene (D&V-kostnadene) i Tabell 4.7 er ment å dekke årlige kostnader til jevnlig vedlikehold samt personellkostnader. Prosentsatsene er som i Asplan Viak (2016), med unntak av fjernvarmeanlegget hvor det her legges til grunn at energiforsyningsanleggets D&V-kostnader dekkes av fjernvarmeleverandøren. D&V-kostnadene for distribusjonsanlegget i bygget er satt til 1% (Øvrige). Dette inkluderer også el-varme (panelovner, varmekabler osv.).

4.10 Diskonteringsrente

Det er flere måter å komme frem til en diskonteringsrente (også kalt kalkulasjonsrente). Ofte består den av en risikofri realrente med et påslag som skal gjenspeile markedets risikopremie og investeringsmulighetens systematiske risiko (samvariasjon med en diversifisert markedsportefølje). Den risikofrie renten settes ofte ut fra avkastningen på statsobligasjoner med tilnærmet samme tidshorisont som investeringen og deretter korrigere for inflasjon. Fra Figur 4.8 kan en se at avkastningen på de 10-årige norske statsobligasjonene er historisk lav for tiden. Sammen med en langsiktig inflasjon på 2-2,5% (PWC, 2016) vil en da få en negativ risikofri realrente. PWC (2016) oppgir også at risikopremien det norske markedet for tiden bruker ligger på rundt 5%.



Figur 4.8: Utvikling i 10-årige statsobligasjoner fra 2000 til 2016. Kilde:Norges Bank

Ettersom levetiden på bygget er godt over 10 år kan det tenkes at historisk lave avkastninger på 10-årige statsobligasjoner ikke beskriver den risikofrie renten godt over hele investeringshorisonten. NVE (2015) opplyser i sin kostnadsrapport at det av Direktoratet for økonomistyring ble anbefalt ved statlige tiltak med inntil 40 års levetid burde brukes en kalkulasjonsrente på 4%. Dette er også kalkulasjonsrenten Asplan Viak (2016) bruker i sine beregninger.

Det kan tenkes at det ville vært mer i samsvar med finansteori å bruke forskjellige diskonteringsrenter basert på de forskjellige teknologiene og utbyggerne ved investeringsanalyser på oppvarmingssystemer i bygg. Ved å benytte samme rente vil derimot resultatene i større grad være avhengig av de forskjellige investerings- og energikostnadene for de ulike løsningene og ikke faktorer som er spesielle for selve prosjektet. Diskonteringsrenten for denne oppgaven settes dermed til 4% reelt etter skatt for totalkapitalen.

4.11 Forventet nybyggareal

Forventet utbygging som følge av befolkningsvekst og erstatning av areal som rives vil være viktige for å bruke resultatene fra case-byggene til å si noe om betydningen på markedet generelt. Som nevnt tidligere regnes det med at nesten nullbygg vil få innvirkning fra og med 2022 og at påvirkningen av de endringene i byggteknisk forskrift som undersøkes her bare vil gjelde frem til dette. Dermed trengs det tall for nybyggareal i perioden 2017-2021.

Estimatene på forventede nybyggareal er hentet fra tall Multiconsult (2014) brukte til å gjøre konsekvensvurderinger på endringer i krav til blant annet isolasjonsevne i vegg, tak og vindu. Tallene deres er hentet fra Enova, SSB og Prognosesenteret og gir verdier på nybyggareal for de ulike byggningskategoriene mellom 2015 og 2020. Nybyggarealene til alle byggningskategoriene utenom boligbyggene har fått en flat nybyggrate på i underkant av 1,5% i forhold til eksisterende bygningsareal i 2010, mens det for boligbyggene er benyttet årlige prognoser fra SSB og Prognosesenteret.

For kategoriene med et konstant nybyggareal per år er det i denne oppgaven forutsatt en videreføring av disse tallene ett ekstra år. Når det kommer til boligbyggene er det regnet ut et årlig snitt for tallene mellom 2017 og 2020. Snittet er deretter brukt som en konstant utbyggingsrate hvert år over hele perioden. Dette gir nybyggarealene gitt i Tabell 4.8 under.

Bygningskategorier	2017	2018	2019	2020	2021	**SUM**
Småhus	1 972 861	1 972 861	1 972 861	1 972 861	1 972 861	**9 864 305**
Boligblokker	1 032 183	1 032 183	1 032 183	1 032 183	1 032 183	**5 160 915**
Barnehage	18 280	18 280	18 280	18 280	18 280	**91 400**
Kontorbygning	383 700	383 700	383 700	383 700	383 700	**1 918 500**
Skolebygning	199 010	199 010	199 010	199 010	199 010	**995 050**
Universitet/høgskole	34 980	34 980	34 980	34 980	34 980	**174 900**
Sykehus	68 130	68 130	68 130	68 130	68 130	**340 650**
Sykehjem	74 760	74 760	74 760	74 760	74 760	**373 800**
Hotellbygning	81 910	81 910	81 910	81 910	81 910	**409 550**
Idrettsbygning	33 300	33 300	33 300	33 300	33 300	**166 500**
Forretningsbygning	435 430	435 430	435 430	435 430	435 430	**2 177 150**
Kulturbygning	41 560	41 560	41 560	41 560	41 560	**207 800**
Lettindustri/verksted	139 140	139 140	139 140	139 140	139 140	**695 700**
SUM	**4 515 244**	**4 515 244**	**4 515 244**	**4 515 244**	**4 515 244**	**22 576 220**

Tabell 4.8: Forventet nybyggareal i m^2 fra 2017 til og med 2021.

4.12 Case-byggene

Data knyttet til de to case-byggene brukt i denne oppgaven er gjort tilgjengelige av Norconsult. Byggene er valgt i samråd med Norconsult med det formål å best mulig illustrere forskjellene mellom den gamle og den nye forskriften. Ettersom det er bygg med særlig høyt varmtvannsbehov og bygg som ikke skal driftes av utbygger som forventes å være mest berørt av endringen, er det valgt ut et sykehjem og en boligblokk fra deres prosjektdatabase. Begge byggene er bygg over 1000m^2 som Norconsult tidligere har utført energiberegninger for. Deres beregninger ble derimot utført på annet grunnlag enn den nyeste versjonen av TEK10. Det meste av inndataene til SIMIEN er derfor vurdert på nytt i denne analysen. Geometrien, altså størrelse og plassering for vegger, tak og gulv, er derimot videreført fra SIMIEN-beregningene til Norconsult, ettersom grunnlaget for disse beregningene ikke var lett tilgjengelige. Arkitekttegninger og annen informasjon det ble gitt tilgang til var ufullstendige og det var dermed vanskelig å utføre en egen vurdering av dette. Dette vil, slik jeg ser det, ikke påvirke oppgaven vesentlig ettersom geometrien er mindre viktig enn egenskapene (U-verdier osv.) og energiforsyningen når det kommer til resultatene for denne analysen.

4.12.1 Verdier til beregning opp mot krav

Energiberegningene i oppgaven er utført med simuleringsprogrammet SIMIEN versjon 6.005 av ProgramByggerne. Simuleringene baserer seg som nevnt på inndata for blant annet klima, byggingens geometri, isolasjonsevner, internlaster, ventilasjon- og oppvarmingssystemer. De ulike konstruksjonsdelene og det tekniske utstyret er etter beste evne prosjektert slik at byggene tilfredsstiller kravene i TEK10 uten spesielt gode eller dårlige deler. Med dette mener jeg at det for eksempel ikke er prosjektert veldig godt isolerte vinduer for å kompensere for dårligere isolering av taket enn det som er normalt.

Ved energiberegninger iht. TEK10 skal det benyttes noen faste og standardiserte verdier gitt i NS3031:2014 *Beregning av bygningers energiytelse. Metode og data.* for tall som driftstid, innetemperatur, luftmengder og internlaster. Beregningene opp mot krav utføres alltid basert på standardisert klima (Oslo) slik det ikke blir forskjellige tekniske krav til byggene basert på lokasjon.

4.12.2 Boligblokken

Case-bygget for boligblokkategorien benyttet i denne oppgaven er en av tre lignende blokker som skal bygges på et nytt boligfelt i Sola kommune. Norconsult har vært med på å prosjektere boligfeltet og fikk blant annet i starten av året i oppgave å utføre energiberegninger på disse blokkene. Beregningene ble utført på blokken de mente hadde dårligst forutsetninger i forhold til utforming, og på bagrunn av dette ble det gitt råd til hvordan alle tre blokkene skulle utformes for å komme innenfor kravene. For selve boligområdet er den første spaden satt i jorden, men det er fortsatt litt usikkerhet rundt når disse blokkene skal bygges. Utbyggeren er av den oppfatning av at markedet for de mindre rekkehusene og eneboliger er bedre i regionen og det startes derfor med disse. Men det kan være rimelig å anta at byggestarten for blokkene også blir i løpet av de nærmeste årene.

Figur 4.9: Boligblokken fra sør-øst øverst og fra nord-vest nederst. Kilde: Arkitektkontoret STAV AS

Blokken består av 22 boenheter som en fra Figur 4.9 kan se er fordelt på 5 etasjer med flatt tak på toppen. De to øverste etasjene er delvis inntrukket og i 1.etasje er det en passasje inn til inngangen som gir et gulv mot friluft i etasjen over. Kjelleren består av en uoppvarmet parkeringskjeller som ikke er inkludert i energiberegningen. Derimot er trappesjakten tatt med helt ned til kjelleren. Andelen samlet glass-, vindus- og dørareal er beregnet til å være 23,5% av oppvarmet BRA. På grunn av det relativt store vindusarealet er boligblokken inndelt i to omtrent like store soner i SIMIEN (en nordlig og en sørlig halvdel). Grunnen til dette er at soltilskuddet vil være veldig forskjellig for de to sonene og en får mer nøyaktige beregninger ved å dele opp bygget. Det er ellers beregnet arealer og volum som gitt i Tabell 4.10.

Bygningsdel	Verdi
Oppvarmet BRA [m2]	1988
Oppvarmet volum [m3]	5940
Yttervegger [m2]	1603,5
Vinduer og ytterdører [m2]	466,5
Gulv [m2]	463
Tak [m2]	463

Tabell 4.9: Areal og volum for bygningsdelene

Inndata for SIMIEN-beregningen er lagt ved i Tabell 1. Som nevnt er disse inndataene satt for å akkurat komme innenfor kravene i TEK10, uten å ha spesielt gode eller dårlige elementer. Verdiene for normalisert kuldebro, lekkasjetall, temperaturvirkningsgrad på varmegjenvinner og spesifikk vifteeffekt er satt i henhold til energitiltakene i TEK10 §14-2(2). Når det kommer til U-verdiene kan en fra Figur 4.10 se at det her er gjort noen omfordelinger. Ettersom at dørene i bygget er satt til en U-verdi 1,2 W/m^{2}K har snittet for vinduene og ytterdørene blitt dratt litt over 0,8 W/m^{2}K. Gulvet er også noe dårligere isolert i forhold til tiltakskravet. Dette er kompensert ved å ha litt mindre glass- vindus- og dørareal og bedre isolasjon i taket. For vegger, gulv og tak er U-verdiene basert på henholdsvis 200mm, 250mm og 300mm kontinuerlig isolasjon med en dimensjonerende varmekonduktivitet (varmeledningsevne, λ) lik 0,037 W/mK. Driftsider og internlaster (gir når og i hvilken grad belysning, teknisk utstyr og personer gir varmetilskudd til bygget) er ikke endret fra NS3031:2014. Det er her verdt å merke seg at det i standarden normalt sett forutsettes at 100% av energibruken til teknisk utstyr går over til varme i bygningens oppvarmede BRA. For småhus og boligblokker forutsettes det derimot et varmetilskudd på 60% for teknisk utstyr. Resten av varmen går ut i sluk og avtrekk ved bruk av utstyr som vaskemaskin, oppvaskmaskin og tørketrommel.

Resultater av evalueringen	
Evaluering av	Beskrivelse
Energitiltak	Bygningen tilfredsstiller ikke kravene til energitiltak i §14-2 (2)
Varmetapsramme	Bygningen tilfredsstiller omfordeling energitiltak (varmetapstall) ihht. §14-2 (2)
Energiramme	Bygningen tilfredsstiller ikke energirammen ihht. §14-2 (1)
Minstekrav	Bygningen tilfredstiller minstekravene i §14-3
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstiller minstekrav gitt i NS3031:2014 (tabell A.6)
Energiforsyning	Fossilt brensel benyttes ikke i oppvarmingsanlegget (§14-4)
Samlet evaluering	Bygningen tilfredsstiller byggeforskriftenes energikrav

Energitiltak (§14-2 (2))		
Beskrivelse	Verdi	Krav
Samlet glass-, vindus og dørareal delt på bruksarealet [%]	23,5	25,0
U-verdi yttervegger [W/m²K]	0,18	0,18
U-verdi tak [W/m²K]	0,12	0,13
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m²K]	0,13	0,10
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m²K]	0,84	0,80
Normalisert kuldebroverdi [W/m²K]	0,07	0,07
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	0,60	0,6
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	80	80
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m³/s]:	1,50	1,50

Omfordeling energitiltak (§14-2 (2), varmetapstall)		
Beskrivelse	Verdi	Krav
Varmetapstall yttervegger	0,10	0,10
Varmetapstall tak	0,03	0,03
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,03	0,02
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,20	0,20
Varmetapstall kuldebroer	0,07	0,07
Varmetapstall infiltrasjon	0,04	0,04
Varmetapstall ventilasjon	0,11	0,11
Totalt varmetapstall	0,58	0,58

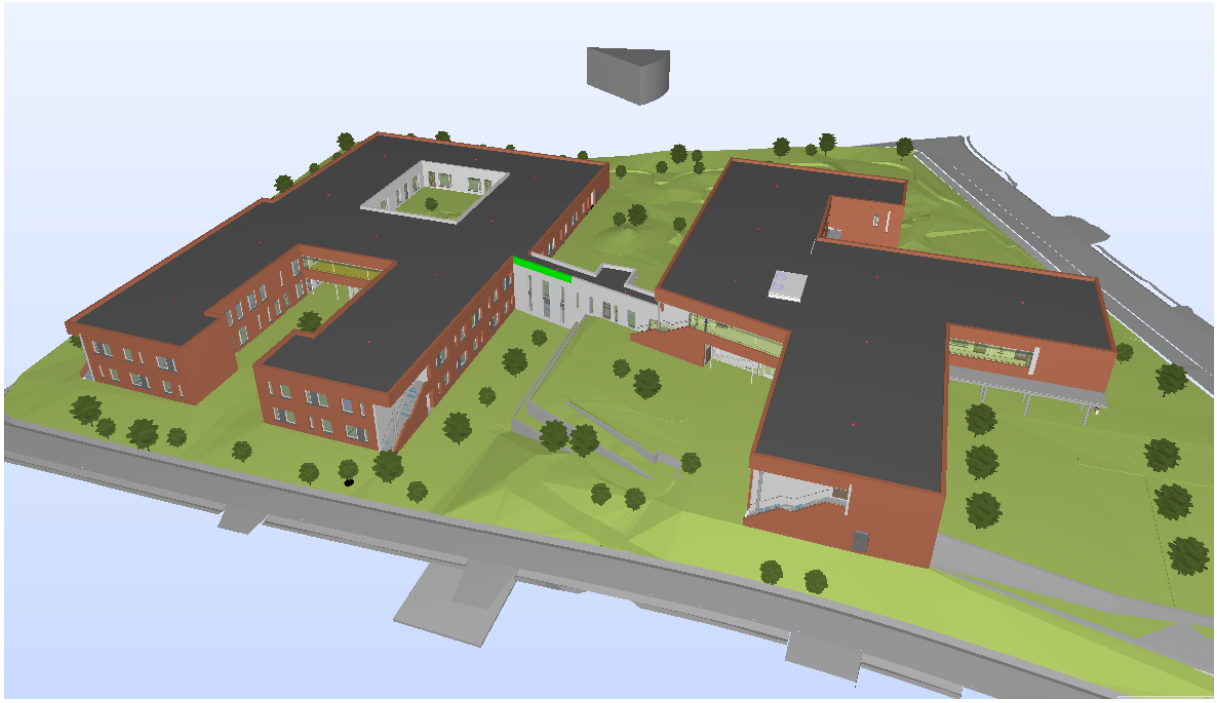
Figur 4.10: Resultatet av SIMIEN-evaluering opp mot krav for boligblokken. Samlet evaluering viser at bygget tilfredsstiller byggeforskriftenes energikrav slik den er utformet.

Fra Figur 4.10 kan en se at boligblokken kommer innenfor kravene i SIMIEN evalueringen, selv om bygget ikke tilfredsstiller energirammen ihht. § 14-2 (1) på 95 kWh/m^2 gjengitt i Tabell 3.1. Ved simulering av samlet netto energibehov med normerte (standardiserte) verdier får bygget et årlig forbruk på 100,9 kWh/m^2. Av dette går 65,8 kWh/m^2 til oppvarming. Oppvarmingsbehovet er fordelt på 45,3% (29,8 kWh/m^2) til varmtvann, 9,3% (6,1 kWh/m^2) til ventilasjonsvarme og 45,4% (29,9 kWh/m^2) til romoppvarming. Dermed vil det ikke være nok å ha sentralt varmeanlegg for varmtvann og ventilasjon hvis bygget skal komme over 60%-kravet til energifleksibilitet. For å tilfredsstille kravet må enten byggets romoppvarmingsbe-

hov reduseres til 23,9 kWh/m^2, gitt at behovet til ventilasjon og varmtvann holdes likt, eller så må deler av romoppvarmingen (ca 12%) dekkes av vannbåren varme.

4.12.3 Sykehjem

Sykehjemmet som brukes til case-bygg i denne oppgaven er i sluttfasen av utbyggingen. Bygget forventes ferdigstilt sommeren 2017 og består av tre etasjer fordelt på to delbygg. Delene er koblet sammen av en korridor. Totalt skal sykehjemmet romme 72 beboere i tillegg til et dagsenter. Det vil også være en uoppvarmet parkeringskjeller i underetasjen. Norconsult har vært med å prosjektere dette bygget siden starten av 2012. Figur 4.11 viser en skjermdump av innsynsmodellen for bygget i nord-østlig retning. Det faktiske sykehjemmet er oppført som et passivhus med bergvarmepumpe som dekker grunnlasten av oppvarmingsbehovet til både romvarme, ventilasjonsvarme og varmt tappevann. For denne oppgaven vil sykehjemmet derimot settes opp slik at det bare tilfredsstille kravene i TEK10.



Figur 4.11: Skjermdump av sykehjemmets innsynsmodell fra nord-østlig retning.
Kilde: Norconsult

Norconsult hadde ikke delt inn sykehjemmet i soner basert på soltilskuddet. Unøyaktigheter

som måtte følge av liten grad av soneinndelingen er neglisjert i denne oppgaven. Ettersom dette er et yrkesbygg bør ikke bygget bli for varmt på de varmeste dagene. Det er derfor medregnet at bygget har utvendige matriser som automatisk aktiviseres ved en solflux på 175 W/m^2 i henhold til NS3031:2014. I tillegg til dette vil det være et kjølebatteri i ventilasjonssystemet som holder temperaturen på et komfortabelt nivå. Dette gjør også at væske/vann varmepumpen til sykehjemmet kan utnytte brønnparken til frikjøling. Virkningsgraden på kjølesystemet (kjølefaktor) er til 10 for varmepumpen med brønnpark mens den for de resterende løsningene er 2,5.

Bygningsdel	Verdi
Oppvarmet BRA [m2]	6902
Oppvarmet volum [m3]	26197
Yttervegger [m2]	5221
Vinduer og ytterdører [m2]	899
Gulv [m2]	3777
Tak [m2]	3760

Tabell 4.10: Areal og volum for bygningsdelene

I Tabell 4.10 er det listet opp noen nøkkelverdier fra SIMIEN for byggets arealer og volum. Som en kan se er dette et relativt stort bygg med et oppvarmet bruksareal på rett under 7000m^2 Vindusarealet blir her på omtrent 13% av oppvarmet BRA.

Tabell 2 i vedlegget viser inndata som ikke er gitt direkte av SIMIEN eller NS3031:2014. Bygget er også her utformet for å akkurat komme innenfor kravene i TEK 10. For sykehjem må en tilfredsstille rammekravet på 195 kWh/m^2 i TEK10. Varmetapene er også her fordelt jevnt på de ulike delene ved å ikke ha noen spesielt gode eller dårlige komponenter. Unntaket fra dette er varmegjenvinneren i ventilasjonssystemet. På grunn av den høye luftstrømmen inn og ut av bygget, ble det gjort beregninger med en god varmegjenvinner med virkningsgrad på 84%. Den normaliserte kuldebroverdien er noe høyre for sykehjemmet. Basert på typiske verdier fra SIMIEN, for bygg med bæresystem i betong og 10cm kuldebrobryter i fasaden, ble denne her satt til 0,09 W/m^{2}K.

Resultater av evalueringen	
Evaluering av	Beskrivelse
Energiramme	Bygningen tilfredsstiller energirammen ihht. §14-2 (1)
Minstekrav	Bygningen tilfredstiller minstekravene i §14-3
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstiller minstekrav gitt i NS3031:2014 (tabell A.6)
Energiforsyning	Fossilt brensel benyttes ikke i oppvarmingsanlegget (§14-4)
Samlet evaluering	Bygningen tilfredsstiller byggeforskriftenes energikrav

Energiramme (§14-2 (1), samlet netto energibehov)	
Beskrivelse	Verdi
1a Beregnet energibehov romoppvarming	28,1 kWh/m²
1b Beregnet energibehov ventilasjonsvarme (varmebatterier)	17,4 kWh/m²
2 Beregnet energibehov varmtvann (tappevann)	29,8 kWh/m²
3a Beregnet energibehov vifter	44,6 kWh/m²
3b Beregnet energibehov pumper	1,8 kWh/m²
4 Beregnet energibehov belysning	37,4 kWh/m²
5 Beregnet energibehov teknisk utstyr	23,4 kWh/m²
6a Beregnet energibehov romkjøling	0,0 kWh/m²
6b Beregnet energibehov ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	12,3 kWh/m²
Totalt beregnet energibehov	194,7 kWh/m²
Forskriftskrav netto energibehov	195,0 kWh/m²

Figur 4.12: Resultatet av SIMIEN-evaluering opp mot krav for sykehjemmet. Samlet evaluering viser at bygget tilfredsstiller byggeforskriftenes energikrav slik det er utformet.

Fra Figur 4.12 kan en se at case-sykehjemmet tilfredsstiller byggeforskriftenes energikrav. Samlet netto energibehov havnet på 194,7 kWh/m^2. En kan også se at energibehovet til vifter er høyt. Dette i tillegg til all energien som trengs for å varme opp den nye luften gjør at mye av energibehovet går til ventilasjonssystemet. Det kunne derfor vært en lurt å ha mer avanserte styringssystemer på ventilasjonen for å få ned forbruket noe. Evalueringen er gjort med redusert effekt til belysning. Ved å ha styringssystemer for belysning, kan en redusere de normerte verdiene i NS 3031 med 20% (til 6,4 W/m^2).

Oppvarmingsbehovet på 75,3 kWh/m^2 er fordelt på 39,6% (29,8 kWh/m^2) varmtvann, 17,4% (17,4 kWh/m^2) ventilasjonsvarme og 37,3% (28,1 kWh/m^2) romoppvarming. For sykehjemmet vil det dermed være nok å dekke hele energibehovet til varmtvann og ventilasjonsvarme med en energifleksibel løsning for å komme innenfor 60%-grensen. For den helelektriske løsningen (Dir el) vil derfor hele romoppvarmingen dekkes uten noen form for vannbåren varme.

4.13 Verdier til beregning av reelt forbruk

Det er ofte store forskjeller mellom beregnet forbruk og det faktiske forbruket et bygg får. Byggets utforming og bruk kan være svært forskjellig fra de normerte verdiene gitt i NS3031:2014. Under oppholdet hos Norconsult utførte jeg blant annet en energiberegning på en matbutikk som illustrerer denne forskjellen godt.

En matbutikk går under kategorien forretningsbygg, hvor NS3031:2014 setter varmetilskuddet i driftstiden fra teknisk utstyr til 1 W/m^2 og driftstiden til 09:00-21:00. Åpningstidene til denne type butikk er ofte 07:00-23:00 og de interne lastene er mye høyere enn 1 W/m^2. På grunn av det store kjølebehovet til varer som må stå kaldt kan varmetilskuddet fra teknisk utstyr være mer enn 10 ganger så høyt. Medregnet lengre driftstider vil dette føre til en veldig betydelig forskjell i varmetilskuddet fra interne laster og ofte føre til at det ikke er noe særlig oppvarmingsbehov, men derimot et stort kjølebehov i slike butikker.

Det er verdt å merke seg at bruken av forretningsbygget kan endre seg i løpet av levetiden. Butikken kan for eksempel bli brukt som et bilverksted etter 20 år. Blant annet derfor er det viktig at forretningsbygg bygges etter standardverdier slik at en ikke må utføre store endringer på bygget for å endre bruken av det.

I denne oppgaven skal analysene fra case-byggene brukes til å si noe om påvirkningen av ny TEK på markedet. Dermed vil det ikke være hensiktsmessig å bruke reelle verdier som spesifikt gjelder for case-byggene. Dette ville medføre at bygget ikke representerer byggkategorien generelt. Det er derfor i analysen her kun endret på parametre som generelt sett er ulike fra de normerte verdiene i NS3031:2014. For eksempel vil ofte innetemperaturen settes til 22 °C i stedet for 21 °C (Norconsult). Spesielt eldre beboere ønsker høyere innetemperaturer.

Etter en telefonsamtale med ProgramByggerne (SIMIEN) ble varmetilskuddet fra varmt tappevann satt til 10% i stedet for den normerte verdien på 0%. Grunnen til dette er at det naturligvis vil komme noe varme fra bruk av varmtvann i et bygg, selv om det meste av varmen renner ut i avløpet. Blant annet vil varm damp fra en dusj kunne spre seg i rommet.

Klimasted vil også ha en stor betydning for reelt forbruk i et gitt bygg. Det vil være store for-

skjeller på oppvarmingsbehovet til et bygg i Tromsø i forhold til et i Kristiansand. Byggkravene kan derimot ikke være strengere for noen deler av landet enn for andre. Energiberegninger opp mot krav, og lignende analyser som denne, gjøres derfor med standardklima (Oslo). I Tabell 4.11 og Tabell 4.12 er det listet opp endringene som er gjort i SIMIEN for å beregne det reelle forbruket i henholdsvis boligblokken og sykehjemmet.

Boligblokk

Beskrivelse	Verdi	Kommentar	Referanse
Varmetilskudd fra varmt tappevann [%]	10 (0)	Varmetilskudd typisk mellom 0-25%	ProgramByggerne
Settpunkttemperatur i driftstid [C]	22 (21)	Ønsker ofte høyere inntemperatur, spesielt de eldre.	Norconsult
Varmegjenvinning ventilasjon [%]	75 (80)	Varmegjenvinningen bør reduseres med rundt 5 prosentpoeng i forhold til ny ved lønnsomhetsbetraktninger over levetiden.	Norconsult
Lekkasjetall (N50) [1/h]	0,7 (0,6)	Lufttetthet kan bli noe lavere over byggets levetid. Bla. tettelister rundt vinduer som tørker.	Norconsult

Tabell 4.11: Inndata for beregning av energibudsjett til boligblokk med reelle verdier.

Endringene på inndata mellom de normerte og reelle beregningene er gjort ut fra et internt veilederdokument hos Norconsult. Ved lange livsløpsanalyser rådes det her til å justere ned varmegjenvinningens virkningsgrad med 5 prosentpoeng, samt å øke lekkasjetallet litt ettersom det vil være slitasjer på bygget.

Sykehjem

Beskrivelse	Verdi	Kommentar	Referanse
Varmetilskudd fra varmt tappevann[%]	10 (0)	Varmetilskudd typisk mellom 0-25%	ProgramByggerne
Varmetilskudd fra teknisk utstyr[%]	80 (100)	Noe av varmen vil gå i sluk og avtrekk som i en bolig.	NS3031:2014 gir 60% i bolig
Effektbehov tappevann [W/m2]	3 (3,4)	Regnet ut fra snitt over hele dagen fra representative verdier.	NVE (2016)
Effektbehov belysning i driftstid [W/m2]	4,9 (8)	Regnet ut fra snitt over hele dagen fra representative verdier.	NVE (2016)
Effektbehov teknisk utstyr i driftstid [W/m2]	6,7 (4)	Regnet ut fra snitt over hele dagen fra representative verdier.	NVE (2016)
Settpunkttemperatur i driftstid [C]	22 (21)	Spesielt eldre ønsker høyere inntemperatur.	Norconsult
Varmegjenvinning ventilasjon [%]	79 (84)	Varmegjenvinningen bør reduseres med rundt 5 prosentpoeng i forhold til ny ved lønnsomhetsbetraktninger over levetiden.	Norconsult
Lekkasjetall (N50) [1/h]	0,7 (0,6)	Lufttetthet kan bli noe lavere over byggets levetid. Bla. tettelister rundt vinduer som tørker.	Norconsult

Tabell 4.12: Inndata for beregning av energibudsjett til sykehjem med reelle verdier.

For sykehjemmet er det gjort noen flere endringer ved de reelle beregningene. Det er spesielt blitt benyttet en rapport av NVE (2016) til å finne representative tall for årlig forbruk til internlastene. Verdiene for effektbehov i Tabell 4.12 er så regnet ut på bakgrunn av dette årlige forbruket, gitt driftstidene er som i NS3031:2014.

5. Resultater

5.1 Boligblokk

Slik boligblokken ble utformet i denne analysen ville den ikke komme innenfor kravet om 60% energifleksibilitet med å bare dekke varmtvanns- og ventilasjonsvarmebehovet fra varmesentralen. Flere aktører på Varmepumpekonferansen 2017 mente at utbyggere vil gjøre det de kan for å slippe vannbåren varme blant annet for å holde byggekostnadene nede. Det er derfor i løsningen med mest mulig direktevirkende elektrisitet (Dir El) antatt at varmesentralen kun dekker 12% av romoppvarmingsbehovet fra varmesentralen, mens resten av behovet dekkes med el-varme fra panelovner og elektriske varmekabler. El-kjelen vil altså i løsningen Dir El dekke behovet til tappevann, ventilasjonsvarme og 12% av romoppvarmingsbehovet. For de resterende løsningene er det antatt at varmesentralen dekker hele oppvarmingsbehovet. Det er videre antatt at en ved installasjon av varmepumpe, biokjel eller fjernvarme prøver å dekke så mye av energibehovet som mulig med disse energikildene. Alternativet El-kjel i Tabell 5.1 er tatt med for å illustrere forbruket fra 100% energifleksibel elektrisk oppvarming i forhold til de andre kildene.

	Totalt forbruk [kWh]		**Forbruk per m^2 [kWh/m^2]**	
Løsning	**Hovedkilde**	**Sekundærkilde**	**Hovedkilde**	**Sekundærkilde**
Dir El	157 241	65 424	79,1	32,9
El-kjel	228 053		114,7	
Luft/Vann VP	51 821	99 896	26,1	50,2
Væske/Vann VP	41 508	99 896	20,9	50,2
Bio-kjel	198 890	70 663	100	35,5
Fjernvarme	155 655	70 663	78,3	35,5

Tabell 5.1: Beregnet levert energi til boligblokken ved de ulike løsningene.

Tabell 5.1 viser resultatene av de reelle energiberegningene for de ulike løsningene. ”Sekundærkilden” for løsningen med direktevirkende elektrisitet er forbruket til romoppvarming

fra panelovner og varmekabler, mens forbruket til El-kjelen i varmesentralen i dette alternativet er inkludert sammen med resten av strømforbruket under "Hovedkilde". Elektrisitetsforbruket til andre formål enn oppvarming kan en se fra sekundærkilden til løsningene med bio-kjel og fjernvarme ettersom disse løsningene som sagt dekker hele oppvarmingsbehovet med "Hovedkilden". Hovedkilden for varmepumpeløsningene er strøm brukt av varmepumpen, mens sekundærkilden reflektere direktevirende elektrisitet til spisslast-kjelen og resterende elektrisitetsforbruk til andre formål enn oppvarming.

5.1.1 Investeringsanalyse

Størrelsen på investeringskostnadene ved de ulike systemene er avhengig av effektbehovet til bygget. En må ha stort nok anlegg til å dekke varmebehovet de kaldeste dagene av året, men ikke så stort at deler av kapasiteten så og si aldri blir brukt. Med en dimensjonerende utetemperatur (DUT) lik -20°C, en innetemperatur på ca 20°C og et totalt varmetapstall (Figur 1 i vedlegget) på 0,62 W/m^{2}K vil boligblokken få et dimensjonerende effektbehov på:

$$0,62W/m^2K * (20°C - (-20°C)) * 1988m^2 = 49,3kW$$

Dette er en del lavere enn det maksimale effektbehovet fra SIMIEN-simuleringen, men passer likevel godt med effektbehovet SIMIEN mener gir 100% energidekning. Forskjellen skyldes at SIMIEN regner ut verdiene med temperaturer på timesnivå, mens DUT er middeltemperaturen over de tre kaldeste/varmeste dagene i året.

Instalert effektbehov for de ulike oppvarmingssystemene regnes så ut fra dette dimensjonerende effektbehovet. Varmepumpene skulle ha 60% effektdekning (29,6kW), mens de resterende vannbårne løsningene skulle ha fullstendig effektdekning. For løsningene med mest mulig direktevirkende elektrisitet er det en el-kjel som skal dekke ventilasjonsvarme-, tappevanns- og ca 12% av romoppvarmingsbehovet. Denne kjelen må da ha en effekt på ca 20kW. Det regnes med at effektbehovet til panelovner og annen el-varme utenfor varmesentralen enkelt dekkes av disse komponentene.

Som nevnt har alle anleggene (utenom fjernvarmeanlegget) en levetid på 17 år, mens bygget

og distribusjonssystemene har en levetid på 50 år. For væske/vann varmepumpen og biokjelen blir dette som nevnt feil ettersom energibrønnene og lageret for pellets ikke trenger å reinvesteres i ved utskiftning. Reinvesteringskostnadene i år 17 og år 34 for V/V VP er derfor satt til det samme som en luft/vann varmepumpe mens den for Bio er satt til 150 000 kr. Dette bør gjøre resultatene for de ulike løsningene sammenlignbare.

Resultatene fra analysen for boligblokken er vist i Tabell 5.2. Alle verdiene er nåverdier i NOK bortsett fra kostnadsposten for "Reinvestering år 17 og år 34" som er vist i nominell verdi for å illustrere investeringskostnadene etter endt levetid på det tekniske utstyret bedre. Det at resultatene i tabellen er på kronenivå kan gi inntrykk for at resultatene er mer nøyaktige enn hva som er tilfellet på grunn av alle forutsetningene i denne analysen. Det er likevel gjort slik for at verdiene i tabellen enklere skal kunne etterprøves.

Kostnadsposter	Dir El	El-kjel	L/V VP	V/V VP	Bio	FV
Investering år 0	737 868	1 228 271	1 428 367	1 678 842	1 519 880	1 283 654
(hvorav varmekilde)	28 100	69 267	269 363	519 784	360 876	124 650
(hvorav distribusjon)	709 768	1 159 004	1 159 004	1 159 004	1 159 004	1 159 004
Reinvestering år 17 og år 34	28 100	69 267	269 363	269 363	150 000	0
D & V kostnader år 1	7 365	12 476	16 324	21 141	150 000	11 144
Energikostnader år 1	175 965	180 223	119 897	111 747	142 290	176 391
Total nåverdi over levetid på 50 år	**5 487 593**	**6 236 599**	**5 116 265**	**5 265 093**	**5 893 275**	**6 108 573**
(hvorav investeringer)	759 700	1 282 086	1 637 642	1 888 117	1 636 417	1 283 654
(hvorav energikostnader)	4 560 356	4 670 706	3 107 285	2 896 066	3 687 618	4 571 414
(hvorav D&V kostnader)	167 538	283 806	371 339	480 910	569 238	253 505

Tabell 5.2: Investeringsanalyse på de ulike oppvarmingssystemene for boligblokken [NOK].

Det er varmepumpeløsningene som kommer best ut av investeringsanalysen. Dårligst er løsningen med fullstendig dekning av vannbåren varme med el-kjel. Denne løsningen vil nok ingen velge ettersom det er relativt store kostnader knyttet til det vannbårene distribusjonssystemet. Da vil en sannsynligvis investert litt ekstra i varmekilden for å få en mer effektiv utnyttelse av systemet. Fordelen med denne løsningen relativt til løsningen hvor mest mulig dekkes uten vannbåren varme, er at systemet er fullstendig fleksibelt slik at det kan installeres L/V VP, Bio eller FV ved en senere anledning.

Fjernvarme og Bio-kjel kommer også ganske dårlig ut av denne analysen. For bio-kjelen er dette hovedsaklig på grunn av investeringskostnadene, men også det høye energiforbruket trekker totalkostnaden opp. Selv om energikostnaden (målt i kr/kWh) for pellets er omtrent halvparten av kostnaden for elektrisitet, vil totale kostnader knyttet til forbruket ikke være lavere enn for varmepumpeløsningene. Ut fra resultatene her ser en også at dersom fjernvarme skal være konkurransedyktig over livsløpet, bør kanskje fjernvarmeprisen settes på bakgrunn av kostnaden per kWh varme fra varmepumpene og ikke direkte i forhold til elprisen.

Væske/Vann varmepumpen har mer en dobbelt så stor investeringskostnad per kW som den luftbasert varmepumpen. Likevel er nåverdien av disse løsningene ganske like. Grunnen til dette er noe bedre virkningsgrader for V/V VP-systemet sammenlignet med L/V VP. Resultatene viser tydelig at den største kostnadsposten er knyttet til energiforbruket. Differansen i netto nåverdi mellom de to løsningene kan så å si forklares av de ekstra D&V-kostnadene for V/V VP i analysen. Her gir forenklingen i analysen en feilkilde ettersom en væskebasert varmepumpe vil arbeide under mer jevne forhold og dermed også få mindre slitasjeproblemer enn varmepumpen som henter energi fra uteluften. En stor del av investeringskostnaden går også til boring av hull som det ikke er vedlikeholdskostnader på. Gitt at D&V-kostnadene var like ville begge varmepumpene hatt omtrent lik nåverdi. En ville derimot spart litt på miljøutslipp ved å velge varmepumpen med lavest energiforbruk.

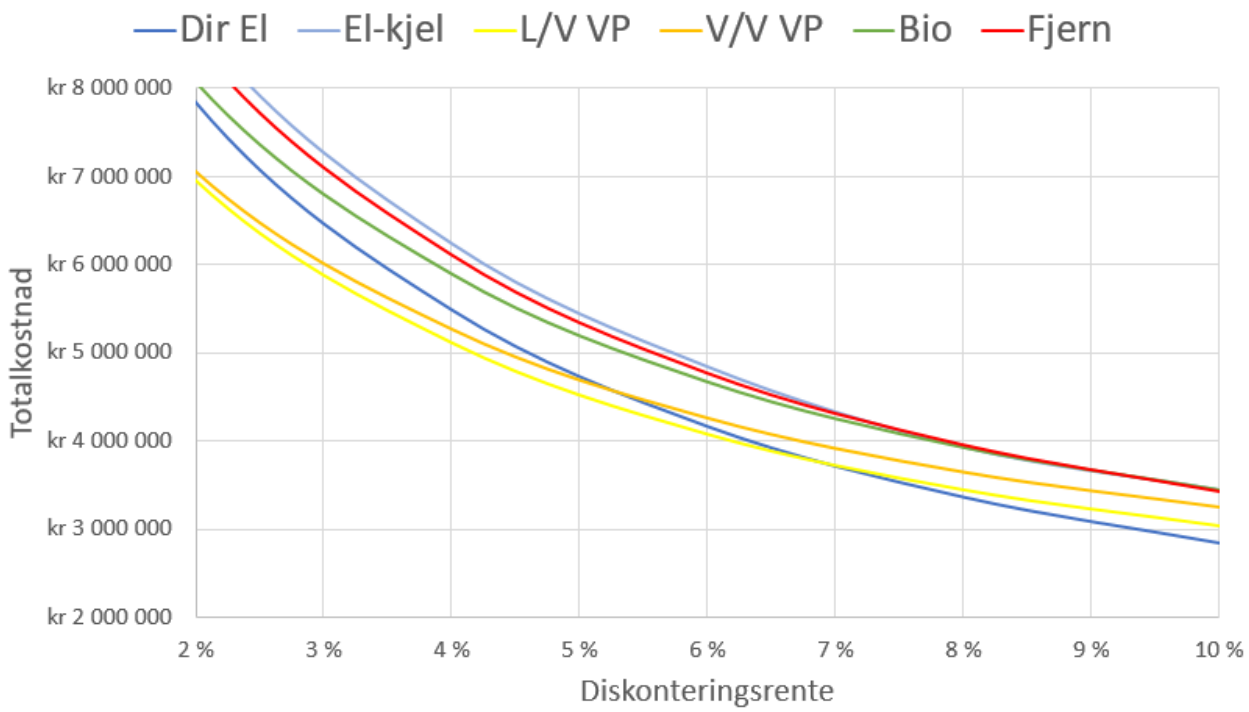
Investeringskostnadene i år 0 er mye lavere for løsningen med mest mulig bruk av direktevirkende elektrisitet ettersom en slipper en del kostnader knyttet til vannbåren varme. Utbyggere som ikke skal drifte bygget selv vil derfor kanskje gå for dette alternativet selv om det ikke er totaløkonomisk lønnsomt. En forklaring på dette kan være at de ikke tror de får igjen investeringskostnaden i de dyrerer energiløsningene ved salg av leilighetene i blokken, slik at det er privatøkonomisk mer lønnsomt for dem med lavere investeringskostnader. En merkostnad på omtrent 700 000 kr for en energieffektiv varmepumpeløsning med vannbåren varme til hele bygget synes derimot for lav til at det skulle ha avgjørende betydning for en blokk med 22 leiligheter. Per leilighet blir merkostnaden omtrent 32 000 kr som er en relativt liten sum hvis en anslår at leilighetene selges for rundt 3 millioner kr. Hvis dette derimot er

tilfellet kan det tyde på en markedssvikt der boligkjøpere ikke verdsetter lavere energiforbruk høyt nok.

	L/V VP	Bio	FV
Totalkostnad ved endring i energikilde i år 17	5 675 775	6 083 851	6 187 837

Tabell 5.3: Endret varmekilde for boligblokken fra El-kjel til L/V VP, FV eller Bio etter år 17.[NOK]

For å undersøke nåverdien i å ha fleksibilitet til å endre oppvarmingsystem over byggets levetid er det i Tabell 5.3 blitt gjort endringer på oppvarmingskilden fra El-kjel til L/V VP, Bio og FV ved første reinvestering i år 17. Som en kan se fra resultatene vil det svare seg å investere i en annen energiløsning sammenlignet med å beholde el-kjelen. Det ville likevel vært bedre å investere energieffektivt fra starten.



Figur 5.1: Sensitivitetsanalyse på totalkostnadene for oppvarmingssystemene til boligblokken med endring i diskonteringsrenten.

Ettersom at summen av de diskonterte kontantstrømmene over byggets levetid er så store sammenlignet med investeringskostnaden i år 0 vil diskonteringsrenten ha stor betydning

for resultatene. De ulike løsningenes totalkostnad halveres omtrent om en endrer diskonteringsrenten fra 2% til 8%. En høyere diskonteringsrente vil være til fordel for systemene hvor investeringskostnadene i starten er lave og hvor kostnadene som kommer senere er høye relativt til konkurerende alternativer. Dette beskriver godt forskjellen mellom investering i mest mulig direktevirkende elektrisitet og investering i et dyrere varmepumpesystem som gir besparelser senere. Besparelsene i energiforbruk får mindre og mindre betydning for totalkostnaden ved høyere diskonteringsrenter samtidig som at investeringskostnaden i år 0 veier tyngre. Ut fra resultatene av sensitivitetsanalysen i Figur 5.1 ser en at L/V VP er den mest lønnomme løsningen ved diskonteringsrente opp mot 7%. På grunn av den lave investeringskostnaden vil Dir El ved høyere nivåer bli mest lønnsomt.En kan også se at differansen mellom de to varmepumpeløsningene øker ved høyere diskonteringsrenter.

5.2 Sykehjem

For sykehjemmet dekkes energifleksibilitetskravet greit gjennom varmtvanns- og ventilasjonsvarmebehovet. Selv om det ville vært tilstrekkelig å dekke dette behovet, er det for alle løsningene utenom direktevirkende elektrisitet likevel prøvd å utnytte de ulike energikildene fullt ut ved vannbåren romoppvarming.

	Totalt forbruk [kWh]		**Forbruk per m^2 [kWh/m^2]**	
Løsning	**Hovedkilde**	**Sekundærkilde**	**Hovedkilde**	**Sekundærkilde**
Dir El	1 567 358	-	227,1	-
El-kjel	1 616 145	-	234,2	-
Luft/Vann VP	312 691	894 580	45,3	129,6
Væske/Vann VP	230 655	894 580	33,4	129,6
Bio-kjel	999 443	824 902	144,8	119,5
Fjernvarme	782 401	824 902	113,4	119,5

Tabell 5.4: Beregnet levert energi til sykehjemmet ved de ulike løsningene.

En kan fra Tabell 5.4 se at systemet med direktevirkende elektrisitet har lavere samlet energiforbruk enn løsningen der romoppvarmingen også dekkes av el-kjelen. Grunnen til dette er

at virkningsgradene er noe dårligere for vannbåren varme i forhold til direkte el-varme.

5.2.1 Investeringsanalyse

Fra Figur 2 i vedlegget kan en se at det totale varmetapstallet for sykehjemmet er på 1,2 W/m^{2}K. Effektbehovet til rom- og ventilasjonsvarme blir dermed:

$$1,2W/m^2K * (20°C - (-20°C)) * 6902m^2 = 331,3kW$$

Dette samsvarer også godt med det laveste effektbehovet SIMIEN mener gir 100% energidekning (319kW). Som for boligblokken regnes det her med at varmekilden kan slå over til å bare varme opp varmtvann i korte perioder når varmtvannslagrene er lave. Reinvesteringskostnadene for V/V VP og Bio er også her henholdsvis satt lik investeringskostnaden for L/V VP og 600 000 kr.

	Dir El	El-kjel	L/V VP	V/V VP	Bio	FV
Investering år 0	2 993 486	4 951 777	6 295 665	7 977 911	6 911 416	4 751 950
(hvorav varmekilde)	281 000	465 477	1 809 365	3 491 611	2 425 116	265 650
(hvorav distribusjon)	2 712 486	4 486 300	4 486 300	4 486 300	4 486 300	4 486 300
Investering år 17 og 34	281 000	465 477	1 809 365	1 809 365	600 000	0
D & V kostnader år 1	31 485	52 089	77 933	110 284	136 411	43 138
Energikostnader år 1	1 238 631	1 277 186	954 066	889 236	1 086 298	1 257 832
Total nåverdi over levetid på 50 år	**36 028 756**	**39 598 249**	**34 200 062**	**34 938 050**	**38 633 406**	**38 537 971**
(hvorav investeringer)	3 211 802	5 313 418	7 701 407	9 383 653	7 377 571	4 958 340
(hvorav energikostnader)	32 100 736	33 099 932	24 725 868	23 045 706	28 152 810	32 598 357
(hvorav D&V kostnader)	716 218	1 184 898	1 772 787	2 508 691	3 103 025	981 274

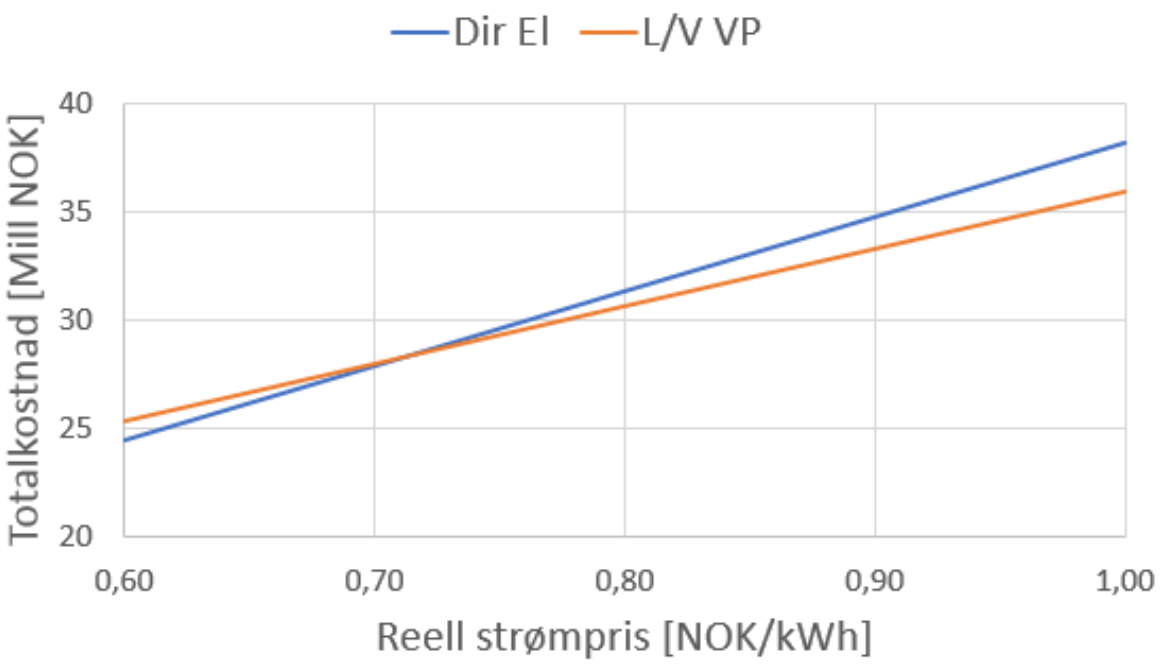
Tabell 5.5: Investeringsanalyse på de ulike oppvarmingssystemene for sykehjemmet.[NOK]

Resultatene i Tabell 5.4 samsvarer godt med resultatene for boligblokken. Det er også her varmepumpeløsningene som kommer best ut og el-kjelen som er dyrest over byggets levetid. Resultatene viser også her klart at energikostnadene veier tungt ved en livsløpsanalyse. Fjernvarmesystemet kommer en del bedre ut for sykehjemmet, spesielt sammenlignet med Bio-kjelen, ettersom at investerings- og D&V-kostnadene er mindre avhengige av størrelsen

på anlegget. Fjernvarme egner seg i så måte bedre på bygg med høyt effektbehov.

For sykehjemmet er differansen mellom L/V VP og V/V VP enda mindre enn for boligblokken, gitt at D&V-kostnadene var like. Forskjellen i totalkostnad etter denne endringen ble på bare 2 000 kr, noe som kan neglisjeres på grunn av usikkerhetene rundt parametrene i analysen. For boligblokken ville differansen vært på omtrent 40 000 kr med samme endring. Den viktigste grunnen til at V/V systemet nærmer seg L/V løsningen for sykehjemmet kommer av muligheten til å bruke energibrønnene til frikjøling, noe som sparer energi i forhold til de andre systemene.

Det er også blitt gjort analyser av endringer i andre parametre. Resultatene av dette er listet opp i Tabell 3 i vedlegget. Luft/vann varmepumpen har den laveste totalkostnaden ved alle endringstiltakene undersøkt her. Det ble først gjort analyser på endringer i den reelle prisveksten for energikildene. Dette var viktig å undersøke ettersom energikostnadene har så stor betydning for nåverdianalysene til de to case-byggene. Som forventet er det løsningene med høyest energiforbruk som påvirkes mest av dette. Unntaket er Bio som har en noen lunde lik prosentvis endring som L/V VP ettersom at kostnadene per kWh er lavere. Av disse resultatene kan en blant annet se at totalkostnaden for løsningen med direktevirkende elektrisitet blir lavere enn totalkostnaden for V/V VP under forutsetning om at det ikke er noen reell økning i energiprisene. Differansen fra Dir El til L/V VP blir også mindre og ved en enda lavere kraftpris ville Dir El alternativet blitt den mest gunstige løsningen. Fra Figur 5.2 kan en se at nåverdien for disse løsningene er lik ved en reell strømpris på omtrent 0,72 kr/kWh over hele investeringshorisonten. Gitt utviklingen utviklingen i kraftmarkedet beskrevet tidligere i oppgaven synes det lite sannsynlig at kraftprisen vil være så lav.



Figur 5.2: Forholdet mellom totalkostnadene til Dir El og L/V VP for sykehjemmet med endring i fast strømpris.

Tabell 3 viser også at Bio og FV blir mer konkurransedyktig i forhold til Dir El om en legger til grunn lavere kostnader for vannbåren varme eller holder energiprisene for FV og pellets konstant (reelt) mens strømprisen stiger. Sammenlignet med varmepumpeløsningene vil de fortsatt være dyrere i et livsløpsperspektiv.

I henhold til resultatene for de to case-byggene i denne oppgaven kan det synes som om aktører som foretrekker direktevirkende elektrisitet uten vannbåren varme har forutsatt lavere energikostnader og/eller høyere diskonteringssats enn det som er brukt i denne oppgaven. En annen forklaring kan være at de som nevnt ikke ser på de totale livsløpskostnadene men i stedet tenker økonomisk isolert sett ut fra egen bedrift.

Isolere bedre for å slippe vannbåren varme

Sykehjem kan komme over kravet til 60% energifleksibilitet med bare sentral oppvarming av tappevann. På SIMIEN filen brukt til å evaluering mot krav, ble det gjort noen endringer for å

se på hvilke tiltak som kunne utføres for å få til dette. U-verdien i alle vegger og gulv ble satt til 0,12 W/m^{2}K, U-verdien i tak til 0,09 W/m^{2}K, varmegjenvinneren virkningsgrad til 85%, lekkasjetallet til 0,6 h^{-1}, normalisert kuldebroverdi til 0,5 W/m^{2}K og luftmengdene i ventilasjonen ble satt til minstekravet ved evaluering mot byggeforskrifter. Bygget fikk da redusert energibehovet til oppvarming med omtrent 35%. Dette kan dermed til dels forsvare bruk av en helelektrisk løsning i et miljø- og el.kapasitetsperspektiv. Gitt at alternativet er å utforme bygget på grensen til energirammekravet kombinert med varmepumpe, bioenergi eller fjernvarme som dekker 60% av varmebehovet. De betydelige reduksjonene i ventilasjonsluft fra et døgnsnitt på 10 m^3/hm^2 til 7 m^3/hm^2 hadde mye å si for reduksjonen i oppvarmingsbehovet til rom og ventilasjon. NVE (2016) og veiledende verdier i NS3031:2014 antyder omtrent 10 m^3/hm^2 som et tilfredsstillende døgnsnitt for sykehjem. Mindre luftmengder vil kunne gi dårligere inneluft for brukerne og de ansatte. Det virker derfor usannsynlig at noen vil velge denne løsningen, ettersom det mest sannsynlig vil være lettere, billigere og bedre å også dekke ventilasjonsvarmen sentralt. Vannbåren romoppvarming vil ikke være nødvendig i forhold til å komme innenfor kravet til energifleksibilitet for et sykehjem uansett.

For boligblokker ser det ut til å være utfordrende å komme over 60% grensen for energifleksibilitet kun ved sentral oppvarming av varmtvann og ventilasjonsvarme. I case-bygget for boligblokker ville det vært nødvendig med 350mm isolasjon i alle yttervegger samt 500mm isolasjon i tak og gulv mot uoppvarmet rom, friluft og grunn for å nå denne grensen. Dette er under forutsetning av at resten av bygget er likt som for resten av analysen. En kan eventuelt også redusere varmegjenvinnings temperaturvirkningsgrad fra 80% til 70% for å øke oppvarmingsbehovet til ventilasjonen slik at romoppvarmingsbehovet blir mindre relativt til det totale oppvarmingsbehovet. Dermed kan en redusere isolasjonstykkelsen i ytterveggene til 300mm. Dette er en dårlig løsning ettersom det vil øke forbruket til oppvarming av ventilasjonsluft i tillegg til å øke varmetapet gjennom veggene. En kan ikke justere ned virkningsgraden noe særlig ytterligere ettersom bygget da fort faller utenfor kravet til totalt varmetapstall i tiltaksmetoden.

5.3 Påvirkning på markedet

Med bakgrunn i datane og resultatene gitt i Tabell 3.1, 4.2, 5.1, 5.4 og 4.8 er det gjort noen enkle beregninger for å illustrere betydningen av at det åpnes for mer bruk av direktevirkende elektrisitet i de nye forskriftene. Det forutsettes her at de to case-byggene representerer alle byggningskategoriene i 3.1 utenom småhus på en god måte. Ved å se på behov for elektrisitet, fjernvarme og bioenergi ved L/V VP, V/V VP, Bio og FV i forhold til forbruket av elektrisitet i Dir El-alternativet, er det gjort noen anslag på forbruket av energi for ulike byggningskategorier. L/V VP og V/V VP er slått sammen ved å bruke snittetbehovet deres. Beregningene er vist i Tabell 4 i vedlegget. Dette vil bli grove anslag blant annet ettersom det ikke er tatt høyde for at noen av byggningskategorier kan ha større eller mindre oppvarmingsbehov i forhold til bruk av elektrisitet til annet enn oppvarming enn det snittet for de to case-byggene skulle tilsi. Eksempelvis har case-blokken i henhold til mine resultater et forbruk på 35,5 kWh/m^2 til annet enn oppvarming og 100 kWh/m^2 til oppvarming ved bruk av bioenergi. For case-sykehjemmet er derimot samme fordeling på 119,5 kWh/m^2 og 144,8 kWh/m^2. Dette har blant annet med brukstid, tetthet av personer og forbruk til internlaster å gjøre.

For de ulike bygningskategoriene er størrelsene på de totale energibehovene per kvadratmeter hentet fra rammekravene i 3.1 og så justert opp ettersom behovet for levert energi har vist seg å være omtrent 17% høyere enn rammekravene skulle tilsi (fra snittet til Dir El i de to case-byggene). Prosentsatsene for markedsandelene til de ulike oppvarmingsystemene er satt ut fra min subjektive forventning ettersom det ikke er funnet gode empiriske data eller begrunnede forventninger på dette området. Dermed vil også resultatene inneholde unøyaktigheter basert på mine subjektive meninger. Det er her forutsatt at 50% av utbyggerne av boligblokker vil benytte seg av muligheten til å velge helelektrisk med mest mulig direktevirkende elektrisitet, mens bare 20% av de andre bygningskategoriene vil bli bygget med helelektriske løsninger.

Gitt anslagene mine på markedsandeler med og uten åpning i forskriftene for bruk av mer direktevirkende elektrisitet samt andre forutsetningene og forenklinger nevnt over, gir lempingen i kravet til energiforsyning et årlig merforbruk på omtrent 250 GWh elektrisitet per år for nybyggene som bygges under den gjeldende forskriften. Dette er kanskje ikke så mye gitt

at over 80TWh brukes i den norske bygningsmassen i år. Det er likevel en betydelig økning med tanke på at dette kun er nybyggene som bygges de neste 5 årene. En stor andel av de disse 80TWh kommer også fra husholdninger (Norsk Teknologi, 2013) som ofte er godt under 1 000 m^2 grensen og dermed ikke påvirkes av forskriftsendringen undersøkt her.

Ettersom det i denne oppgaven er antatt at så godt som hele oppvarmingsbehovet dekkes av VP, FV og Bio mens det ved den gamle forskriften bare var krav om at 60% skulle dekkes, vil merforbruket anslått over også være litt høyt. Resultatene av denne analysen er som nevnt grove anslag som bare skal illustrere betydningen av å åpne for mer bruk av direktevirkende elektrisitet. Samtidig som endringen i forskriften medfører et merforbruk på elektrisitet gir den en reduksjon i bruk av bioenergi og fjernvarme på henholdsvis 100 GWh og 80 GWh.

		Tonn CO2/GWh			Tonn CO2/år		
Energikilde	Merforbruk [GWh/år]	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3
Elektrisitet	250	395	175	17	98 750	43 7500	4 250
Fjernvarme	-80	231	125	50	-18 480	-12 000	-4 000
Bioenergi	-100	14	14	14	-1 400	-1 400	-1 400
				Sum	**78 870**	**30 350**	**-1 150**

Tabell 5.6: Miljøpåvirkning av at det åpnes for mer bruk av direktevirkende elektrisitet.

I Tabell 5.6 er endringene i årlig energiforbruk regnet om til tonn CO2 per år. CO_2 faktorene fra Tabell 4.2 er her konvertert til tonn/GWh (gir de samme tallene ettersom forholdet for g/tonn og kWh/GWh er likt). En kan se fra resultatene her at det først er når en forutsetter CO_2-faktorene for elektrisitetforbruk så lavt som 17 tonn/GWh at miljøpåvirkningen som følge av mer bruk av elektrisitet blir positiv. Dette kommer av at fjernvarmebruken reduseres og at fjernvarme (gitt forutsetningen om CO_2-faktorer i Alt. 3) gir høyere CO_2-utslipp per GWh enn elektrisitet. Legger en til grunn marginalutlippene ved europeisk eller nordisk kraftproduksjon vil det derimot være en negativ påvirkning på miljøet i form av henholdsvis 80 000 tonn og 30 000 tonn ekstra CO_2 utslipp per år.

6. Konklusjon

Målet med oppgaven var å gi innblikk i hvordan de nye byggtekniske forskriftene påvirket to case-bygg og om mulig si noe om innvirkningen på markedet og miljøet. Fokuset skulle være på nye krav til energiforsyningen, nærmere bestemt åpningen for mer bruk av direktevirkende elektrisitet. Jeg hadde også et mål om at oppgaven skulle informere om forskriftsendringen og bidra til et kunnskapsløft på området.

Resultatene fra de to case-byggene stemmer godt overens. I motsetning til resultatene til Asplan Viak (2016) viser resultatene her at det vil være totaløkonomisk lønnsomt å investere i en varmepumpeløsning, selv ved høye investeringskostnader knyttet til vannbåren varme. I så måte har ikke de nye forskriftskravene noen betydning for hvilken energiløsning de to case-byggene bør velge. De løpende kostnadene til forbrukt energi veier tungt på totalverdien, og besparelser her veier mer enn opp for høye investeringskostnader. Til tross for dette synes det som om flere utbyggere ønsker å gå for lave investeringskostnader og derfor minst mulig vannbåren romoppvarming. Dermed medfører myndighetenes mål om å redusere byggekostnadene ved nye TEK17 at brukerne av byggene som betaler løpende energikostnader og miljøet sitter igjen som tapere, mens utbyggerne på sin side kan få bedre marginer på grunn av lavere byggekostnader.

I motsetning til Asplan Viak (2016) synes det ut fra case-boligblokken i denne oppgaven som at det skal en del tiltak til for at boligblokker skal kunne fullstendig unngå vannbåren varme. Dette gjelder i alle fall dersom ventilasjonsvarmen også skal komme fra elektriske varmebatterier. Dermed vil det for blokker med over 1 000m^2 BRA fortsatt være behov for noe vannbåren varme under de nye forskriftene. Denne varmen kan dekkes av en el-kjel, men det vil i henhold til mine resultater være ulønnsomt.

Ut fra de grove anslagene på miljøpåvirkningen av forskriftsendringen, virker det som vi kan forvente et merforbruk på 0,25TWh elektrisitet per år som igjen gir økte CO_2-utslipp. Dette

er ikke en veldig stor økning sammenlignet med den positive påvirkningen som Dyrendahl (2016) skildrer at en implementasjon av "nullenergibygg" vil kunne ha, men like fullt et steg i feil retning. Store uenigheter rundt hvor ren elektrisiteten er gjør det vanskelig å si noe eksakt om miljøpåvirkningen og ulike lesere vil sannsynligvis ha ulik oppfatning av dette. Likevel burde vi kunne konkludere at når vi har et system som opprinnelsesgarantiene, kan det vanskelig hevdes at strømmen vi forbruker i Norge er ren, samtidig som forbrukere i Europa har kjøpt garantier for "ren strøm" fra norske kraftprodusenter gjennom denne ordningen. Under forutsetningene om at besparelser i strømforbruk i Norge reduserer utslippene i Europa generelt, viser resultatene i denne oppgaven at det som følge av åpningen for mer bruk av direktevirkende elektrisitet vil slippes ut omtrent 80 000 tonn CO_2 per år mer fra nybyggene som bygges under den nye forskriften .

I gjennomgangen av tidligere litteratur ble det gjort rede for at energieffektivisering er viktig får å nå globale klimamål. Fremover trenger vi strømmen i sektorer som transport og kraftintensiv næring. Enhver kWh som spares i bygningsmassen åpner for besparelser andre steder. Norske myndigheter har derimot gjennom lemping i kravene til energiforsyningen gått i motsatt retning. Slik jeg ser det fortsetter den uklare og tilfeldige tilnærmingen til norske klimamål skildret i Norsk Teknologi (2013). De nye kravene burde heller vært en videre skjerpelse mot planen som skal gi "nesten nullenergibygg" fra 2020. I lys av dette tviler jeg på at det i nærmeste fremtid vil komme krav om bygg som produserer like mye energi som de forbruker.

6.1 Begrensninger i oppgaven

Selv om resultatene av investeringsanalysene virker robuste ved endringene i parametrene undersøkt i denne oppgaven, er det klart at de mange usikkerhetene rundt en slik analyse gjør resultatene åpne for debatt. Det er mange valgmuligheter og gode argumenter for forskjellige anslag på usikre parametere i en analyse som denne. Inndata for analysen er forsøkt satt slik at de skal representere virkeligheten og forventningene på best mulig måte, og være nøytrale i forhold til de alternative løsningene slik at investeringsmulighetene er sammenlignbare.

Det er heller ikke tatt hensyn til at kravene til bygningskroppen er blitt strengere etter endringen i TEK10. Selvfølgelig vil dette i seg selv gi besparelser i energibruk og dermed CO_2-utslipp for byggene som bygges etter forskriftsendringen. Det kan også hende at disse besparelsene kompenserer for lemping i kravene til energiforsyningen. Dette har ikke være relevant for denne oppgaven ettersom fokuset var på på åpningen for mer bruk av direktevirkende elektrisitet.

6.2 Videre arbeid

Utredninger om miljøpåvirkningen av krav til bygg gjøres vanskelig ettersom det finnes lite data på virkelig forbruk fra de ulike energikildene. Dataene som finnes er ofte på bygg som har utført energitiltak utover det som kreves og derfor ikke representerer bygningsmassen generelt. Det foreslås at videre arbeid går på å lage et sentralt system hvor utbyggere dokumenterer energiberegningene til løsningen de har valgt og byggeiere rapporterer det formålsdelte forbruket sitt, altså hvor mye energi som går til varmtvann, ventilasjon, belysning osv. Dette ville ført til at grunnlaget for forskning på energieffektivisering av bygg kunne fått et kraftig løft. Byggeierne selv vil også få et bedre bilde på kostnadsdriverne og hvordan de eventuelt kan gjøre gode effektiviseringstiltak.

Det kan tenkes at en av grunnene bak endringen var å gi varmenæringen mer konkurranse i markedet. Under Varmepumpekonferansen 2017 fikk jeg høre at det var flere som var misfornøyd med de vannbårne oppvarmingssystemene sine på grunn av dårlig prosjekterte og bygde løsninger. Systemene fungerte ikke som de skulle og krevde mye etterarbeid for å rettes opp. Dette bør varme- og rørleggernæringen ta tak i ved å ha kvalitet i arbeidet og påse at systemene som bygges fremover fungerer.

Når det gjelder utviklingen videre og arbeidet med den neste byggforskriften håper jeg at fokuset rettes tilbake til å få til mest mulig lønnsomme energieffektiviseringstiltak. Hvorvidt målene om "nesten nullenergibygg" blir en realitet allerede rundt 2020 blir spennende å se. Personlig synes jeg helt klart at dette bør bli et krav. Utbyggere kan da selv velge om de vil investere i direktevirkende elektrisitet og ta ekstrakostnadene knyttet til mer lokal energiproduksjon, eller om de vil energieffektivisere mer for å slippe å produsere så mye selv.

Det vil uansett være viktig at de øverste myndighetene setter konkrete mål for miljøpolitikken og at de formidler bidraget de forventer fra bygningsmassen tydelig til DiBK. Utredningene og annet arbeid rundt neste forskrift kan da sikte seg inn på å nå disse målene. Prosessene bør være gode, ryddige og åpne slik at aktører med kunnskap og interesse kan gi tilbakemeldinger som enkelt kan implementeres om det er ønskelig. Det vil da være viktig at forutsetningene for analysene og målene er tydelig presisert og formulert offentlig slik at aktørene forstår bakgrunnen for og målene med arbeidet og handler i tråd med dette. Når forskriftsendringene til slutt skal fastsettes, bør valgene begrunnes og kommuniseres samlet til offentligheten ut fra analysene som er gjort.

Kilder

Aasen, E. (2006). Verdsettelse av investeringsprosjekt i oljebransjen : realopsjoner kontra tradisjonelle metoder. Masteroppgave, NHH.

Asplan Viak (2016). Energifleksibilitet i bygg - en studie av konsekvenser av preaksepterte løsninger. Hentet fra: https://dibk.no/globalassets/energi/energifleksibilitet-i-bygg---en-studie-av-konsekvenser-av-preaksepterte-losninger_asplan-viak_juni_2016.pdf.

Dyrendahl, T. (2016). Impact of a Large Implementation of ZEBs in the Norwegian Power System. Masteroppgave, NTNU.

Egeli, A. (2016). Realopsjonsanalyse for varmepumpeinvestering. prosjektoppgave, NTNU.

Kommunal- og regionaldepartementet (2010). Energieffektivisering av bygg - En ambisiøs og realistisk plan mot 2040. Hentet fra: https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/krd/vedlegg/boby/rapporter/energieffektivisering_av_bygg_rapport_2010.pdf.

Lindberg, K. B., Doorman, G., Fischer, D., Korpås, M., Ånestad, A., and Sartori, I. (2016a). Methodology for optimal energy system design of Zero Energy Buildings using mixed-integer linear programming. *Energy Buildings*, 127:194–205.

Lindberg, K. B., Fischer, D., Doorman, G., Korpås, M., and Sartori, I. (2016b). Cost-optimal energy system design in Zero Energy Buildings with resulting grid impact: A case study of a German multi-family house. *Energy Buildings*, 127:830–845.

Multiconsult (2014). Konsekvensanalyse av å innføre nye forskriftskrav til energieffektivisering av bygg. Hentet fra:

https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/konsekvensvurdering_energiregler.pdf.

Norsk Teknologi (2013). Energibruk i bygg - rammer, krav og muligheter. *Faktahefte*, Nr. 8.

Norsk Teknologi (2017). Energiløsninger i bygg. *Faktahefte*, Nr.8.

NVE (2015). Kostnader i energisektoren - Kraft varme og effektivisering. Hentet fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_02a.pdf.

NVE (2016). Analyse av energibruk i yrkesbygg. Hentet fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_24.pdf.

NVE (2017). Nve kraftmarkedsanalyse 2016-2030. Hentet fra: https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/oed/vedlegg/energiloven/sintef_varmemarkedets_utvikling.pdf?id=2244459.

Olje- og energidepartementet (2014). Et bedre organisert strømnett. Hentet fra: https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/oed/pdf_filer_2/rapport_et_bedre_organisert_stroemnett.pdf.

PWC (2016). Risikopremien i det norske markedet. Hentet fra: http://www.pwc.no/no/publikasjoner/verdivurdering/risikopremien-2016.pdf.

Statnett (2016). Langsiktig markedsanalyse Norden og Europa 2016–2040. Hentet fra: https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/oed/vedlegg/energiloven/sintef_varmemarkedets_utvikling.pdf?id=2244459.

Stene, J. (2000). Varmepumper for oppvarming og kjøling av bygninger. Hentet fra: http://www.ivt.ntnu.no/ept/fag/tep4115/innhold/Laboppgaver/Varmepumpe%20Notat%20J%20Stene.pdf.

Vedlegg

Inndata til SIMIEN

Element	Verdi	Kommentar	Referanser
U-verdi gulv mot grunn, luft eller uoppvarmet rom	0,09 W/(m²K) *	Ca. 400 mm kontinuerlig isolasjon med λ = 0,037 W/(mK)	BKS 471.010. Kapittel 21
U-verdi tak mot friluft eller uoppvarmet rom	0,12 W/(m²K)	Ca. 300 mm kontinuerlig isolasjon med λ = 0,037 W/(mK)	BKS 471.010. Kapittel 21
U-verdi yttervegg mot friluft, grunn eller uoppvarmet rom	0,18 W/(m²K)	Ca. 200 mm kontinuerlig isolasjon med λ = 0,037 W/(mK)	BKS 471.010. Kapittel 21
U-verdi vindu	0,8 W/(m²K) **	3-lags glass med gassfylling, superisolert karm/ramme	SIMIEN
U-verdi ytterdører	1,6 W/(m²K) **	Middels isolert dør	SIMIEN
Normalisert kuldebroverdi (totalt per BRA)	0,07 W/(m²K)	Helt normalt for et slikt bygg	Norconsult
Lufttetthet. Antall luftvekslinger per time ved 50 Pa trykkforskjell	0,6 h^{-1}	Krever fokus på dette i byggefasen	Norconsult
Driftstider og internlaster	-	Ikke endret fra standard	NS 3031:2014
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg	80 %	Helt greit for moderne anlegg	Norconsult
Spesifikk vifteeffekt i ventilasjonsanlegg, SFP-faktor i og utenfor driftstid	1,5 kW/m³/s	Normal verdi for moderne anlegg	Norconsult
Midlere luftmengder tilluft og avtrekk	1,7 m³/(hm²)	Veiledende verdi	NS 3031:2014
Normalisert varmekapasitet	84 Wh/(m²K)	Beregnet ut ifra planlagt materialbruk	SIMIEN
Total solfaktor (glass + solskjerming) for ikke solutsatte fasader. Fast solskjerming	0,45	3-lags rute, hvorav to er energispareglass	SIMIEN
Total solfaktor (glass + solskjerming) for solutsatte fasader. Ikke aktivert stilling	0,40	Innvendige persienner og 3-lags rute	SIMIEN
Total solfaktor (glass + solskjerming) for solutsatte fasader. Aktivert stilling	0,31	Innvendige persienner og 3-lags rute	SIMIEN
Grunnforhold (varmeledningsevne / varmekapasitet)	3,5 W/(mK) / 556 Wh/(m³K)	Fjell	SIMIEN

* Varmemotstand i grunnen er ikke inkludert i oppgitt U-verdi. U-verdien reduseres av varmemotstanden i grunnen.
** Verdien er inkludert varmemotstanden i karm/ramme.

Tabell 1: Inndata til SIMIEN-beregningene for boligblokken.

Element	Verdi	Kommentar	Referanser
U-verdi gulv mot grunn	0,14 W/(m²K) *	Ca. 250 mm kontinuerlig isolasjon med λ = 0,037 W/(mK)	BKS 471.010. Kapittel 21
U-verdi gulv mot uoppvarmet rom	0,12 W/(m²K) *	Ca. 300 mm kontinuerlig isolasjon med λ = 0,037 W/(mK)	BKS 471.010. Kapittel 21
U-verdi tak mot friluft	0,12 W/(m²K)	Ca. 300 mm kontinuerlig isolasjon med λ = 0,037 W/(mK)	BKS 471.010. Kapittel 21
U-verdi yttervegg mot friluft, grunn eller uoppvarmet rom	0,18 W/(m²K)*	Ca. 200 mm kontinuerlig isolasjon med λ = 0,037 W/(mK)	BKS 471.010. Kapittel 21
U-verdi vindu	0,8 W/(m²K) **	3-lags glass med gassfylling, superisolert karm/ramme	SIMIEN
U-verdi ytterdører	1,2 W/(m²K) **	Godt isolert dør	SIMIEN
Normalisert kuldebroverdi (totalt per BRA)	0,09 W/(m²K)	Byggning med bæresystem i betong, mur eller stål og 10 cm kuldebrobryter i fasade	Norconsult
Lufttetthet. Antall luftvekslinger per time ved 50 Pa trykkforskjell	0,6 h^{-1}	Krever fokus på dette i byggefasen	Norconsult
Driftstider og internlaster	-	Ikke endret fra standard.	NS 3031:2014
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg	84 %	Godt moderne anlegg	Norconsult
Spesifikk vifteeffekt i ventilasjonsanlegg, SFP-faktor i driftstid	2 kW/m³/s	Normal verdi for moderne anlegg	Norconsult
Spesifikk vifteeffekt i ventilasjonsanlegg, SFP-faktor utenfor driftstid	1 kW/m³/s	Normal verdi for moderne anlegg	Norconsult
Midlere luftmengder tilluft og avtrekk i driftstid	12,5 m³/(hm²)	Fordelt basert på at 10 m³/(hm²) er tilfredsstillende	NVE (2016)
Midlere luftmengder tilluft og avtrekk utenfor driftstid	5 m³/(hm²)	Fordelt basert på at 10 m³/(hm²) er tilfredsstillende	NVE (2016)
Normalisert varmekapasitet	30 Wh/(m²K)	Beregnet ut ifra planlagt materialbruk	SIMIEN
Total solfaktor (glass + solskjerming) for ikke solutsatte fasader (Nord). Fast solskjerming	0,45	3-lags rute, hvorav to er energispareglass	SIMIEN
Total solfaktor (glass + solskjerming) for solutsatte fasader. Ikke aktivert stilling	0,40	Automatisk utvendig markise og 3-lags rute	SIMIEN
Total solfaktor (glass + solskjerming) for solutsatte fasader. Aktivert stilling	0,15	Automatisk utvendig markise og 3-lags rute.	SIMIEN
Grunnforhold (varmeledningsevne / varmekapasitet)	3,5 W/(mK) / 556 Wh/(m³K)	Fjell	SIMIEN

* Varmemotstand i grunnen og i ventilert parkeringskjeller er ikke inkludert i oppgitt U-verdi. U-verdien reduseres av varmemotstanden.
** Verdien er inkludert varmemotstanden i karm/ramme.

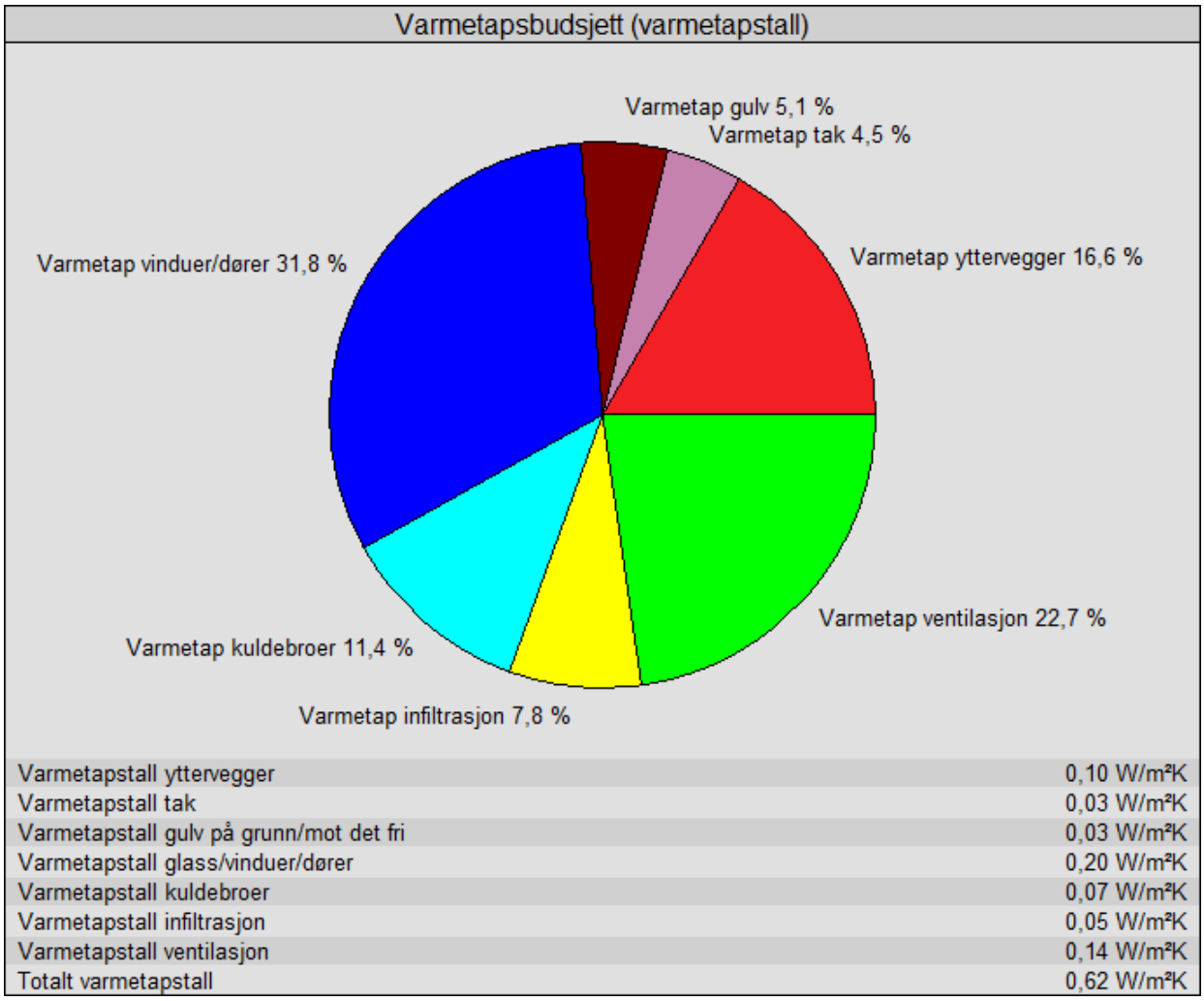
Tabell 2: Inndata til SIMIEN-beregningene for sykehjemmet.

Endringstiltak	Dir El	El-kjel	L/V VP	V/V VP	Bio	Fjern
Uten endringer	36 028 756 (0%)	39 598 249 (0%)	34 200 062 (0%)	34 938 050 (0%)	38 633 406 (0%)	38 537 971(0%)
Ingen prisutvikling reell	31 435 412 (-12,7%)	34 861 929 (-12,0%)	30 661 999 (-10,3%)	31 640 404 (-9,4%)	34 604 977 (-10,4%)	33 873 422 (-12,1%)
Halve prisutviklingen reell	33 732 084 (-6,4%)	37 230 089 (-6,0%)	32 431 031 (-5,2%)	33 289 227 (-4,7%)	36 619 192 (-5,2%)	36 205 697 (-6,1%)
50% ekstra prisutvikling	38 325 427 (6,4%)	41 966 409 (6,0%)	35 969 093 (5,2%)	36 586 872 (4,7%)	40 647 620 (5,2%)	40 870 246 (6,1%)
Vannbåren varme 235kr/m2		37 789 744 (-4,6%)	32 391 557 (-5,3%)	33 129 545 (-5,2%)	36 824 901 (-4,7%)	36 729 466 (-4,7%)
Ingen prisutvikling FV og pellets					35 213 953 (-8,9%)	36 290 904 (-5,8%)

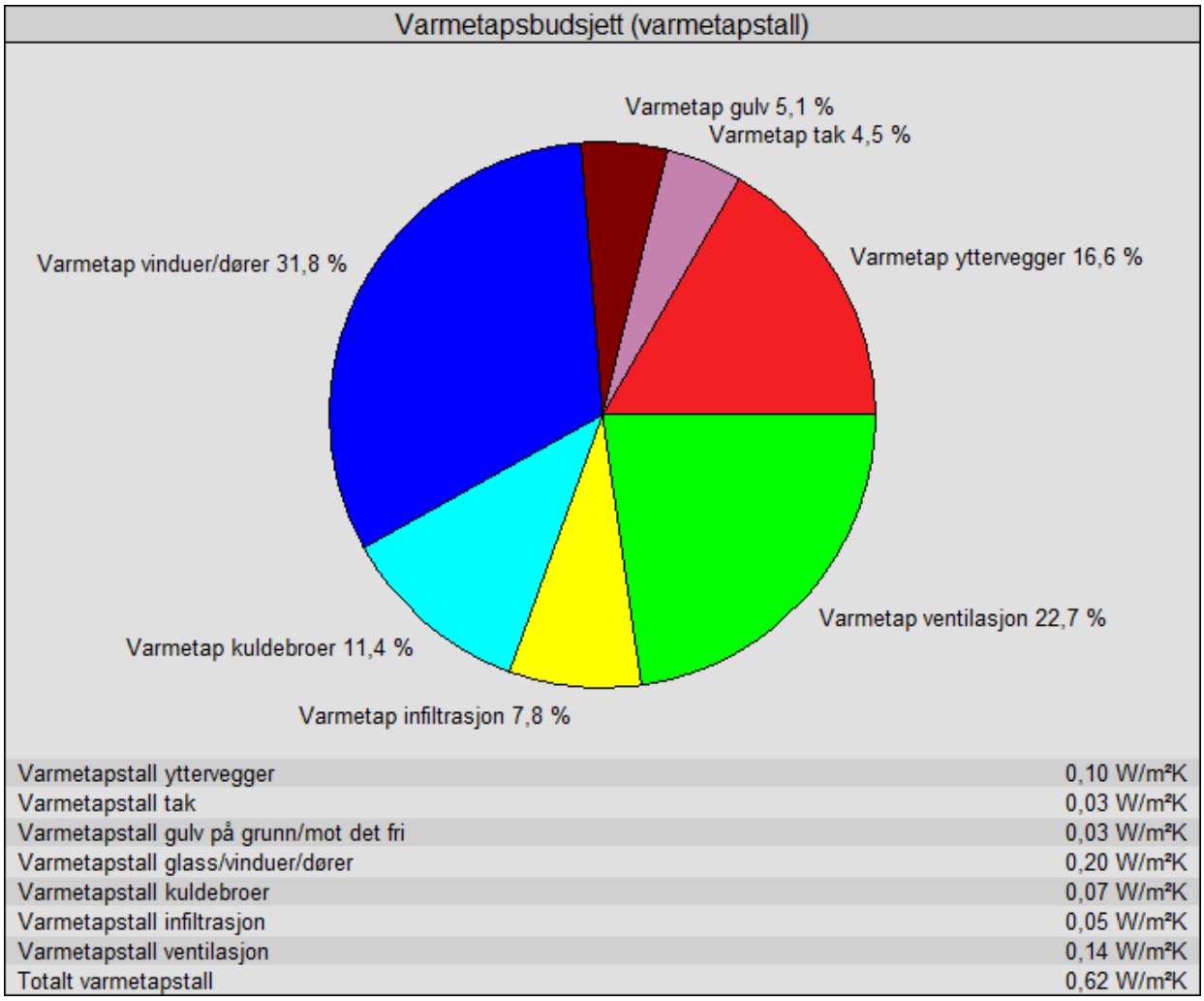
Tabell 3: Totalkostnader og prosentvis endring fra utgangspunktet etter endringer i noen av parametrene for investeringsanalysen til sykehjemmet. Tallene er nåverdier i NOK.

Åpent for mer bruk av direktevirkende elektrisitet																
				Dir El		L/V VP og V/V VP		Bio			FV			Samlet forbruk nybygg		
Bygningskategorier	Nybygg	Rammekrav	Reelt behov	Elektrisitet	Andel	Elektrisitet	Andel	Elektrisitet	Bioenergi	Andel	Elektrisitet	Fjernvarme	Andel	Elektrisitet	Fjernvarme	Bioenergi
	[m²]	[kWh/m² år]	[kWh/m² år]	[kWh/m² år]		[kWh/m² år]		[kWh/m² år]	[kWh/m² år]		[kWh/m² år]	[kWh/m² år]		[GWh]	[GWh]	[GWh]
Boligblokker	5 160 915	95	112	112	50 %	74	30 %	36	100	10 %	36	78	10 %	439,8	40,4	51,6
Barnehage	91 400	135	158	158	20 %	113	50 %	72	114	15 %	72	89	15 %	10,0	1,2	1,6
Kontorbygning	1 918 500	115	135	135	20 %	97	50 %	62	97	15 %	62	76	15 %	180,0	22,0	28,0
Skolebygning	995 050	110	129	129	20 %	92	50 %	59	93	15 %	59	73	15 %	89,2	10,9	13,9
Universitet/høgskole	174 900	125	146	146	20 %	105	50 %	67	105	15 %	67	82	15 %	17,7	2,2	2,8
Sykehus	340 650	225	263	263	20 %	188	50 %	120	190	15 %	120	149	15 %	62,3	7,6	9,7
Sykehjem	373 800	195	227	227	20 %	169	50 %	120	145	15 %	120	113	15 %	62,0	6,4	8,1
Hotellbygning	409 550	170	199	199	20 %	142	50 %	91	144	15 %	91	112	15 %	56,7	6,9	8,8
Idrettsbygning	166 500	145	170	170	20 %	122	50 %	78	123	15 %	78	96	15 %	19,7	2,4	3,1
Forretningsbygning	2 177 150	180	211	211	20 %	151	50 %	96	152	15 %	96	119	15 %	319,3	38,9	49,8
Kulturbygning	207 800	130	152	152	20 %	109	50 %	69	110	15 %	69	86	15 %	22,0	2,7	3,4
Lettindustri/verksted	695 700	140	164	164	20 %	117	50 %	75	118	15 %	75	93	15 %	79,3	9,7	12,4
													SUM	1358	151	193
Ikke åpent for mer bruk av direktevirkende elektrisitet																
				Dir El		L/V VP og V/V VP		Bio			FV			Samlet forbruk nybygg		
Bygningskategorier	Nybygg	Rammekrav	Reelt behov	Elektrisitet	Andel	Elektrisitet	Andel	Elektrisitet	Bioenergi	Andel	Elektrisitet	Fjernvarme	Andel	Elektrisitet	Fjernvarme	Bioenergi
	[m²]	[kWh/m² år]	[kWh/m² år]	[kWh/m² år]		[kWh/m² år]		[kWh/m² år]	[kWh/m² år]		[kWh/m² år]	[kWh/m² år]		[GWh]	[GWh]	[GWh]
Boligblokker	5 160 915	95	112	112	0 %	74	60 %	36	100	20 %	36	78	20 %	301,5	80,8	103,2
Barnehage	91 400	135	158	158	0 %	113	60 %	72	114	20 %	72	89	20 %	8,8	1,6	2,1
Kontorbygning	1 918 500	115	135	135	0 %	97	60 %	62	97	20 %	62	76	20 %	158,6	29,3	37,4
Skolebygning	995 050	110	129	129	0 %	92	60 %	59	93	20 %	59	73	20 %	78,6	14,5	18,5
Universitet/høgskole	174 900	125	146	146	0 %	105	60 %	67	105	20 %	67	82	20 %	15,6	2,9	3,7
Sykehus	340 650	225	263	263	0 %	188	60 %	120	190	20 %	120	149	20 %	54,9	10,1	12,9
Sykehjem	373 800	195	227	227	0 %	169	60 %	120	145	20 %	120	113	20 %	55,8	8,5	10,8
Hotellbygning	409 550	170	199	199	0 %	142	60 %	91	144	20 %	91	112	20 %	49,9	9,2	11,8
Idrettsbygning	166 500	145	170	170	0 %	122	60 %	78	123	20 %	78	96	20 %	17,3	3,2	4,1
Forretningsbygning	2 177 150	180	211	211	0 %	151	60 %	96	152	20 %	96	119	20 %	281,3	51,9	66,3
Kulturbygning	207 800	130	152	152	0 %	109	60 %	69	110	20 %	69	86	20 %	19,3	3,6	4,6
Lettindustri/verksted	695 700	140	164	164	0 %	117	60 %	75	118	20 %	75	93	20 %	69,9	12,9	16,5
													SUM	1112	228	292
													Differanse	246	-77	-99

Tabell 4: Grove overslag for påvirkning av åpning for mer bruk av direktevirkende elektrisitet sammenlignet med om det fortsatt var krav til at 60% av oppvarmingsbehovet kom fra annen kilde enn direktevirkende elektrisitet.



Figur 1: Varmetapsbudsjett til beregning av dimensjonerende effektbehov for boligblokken. Hentet fra SIMIEN.



Figur 2: Varmetapsbudsjett til beregning av dimensjonerende effektbehov for sykehjemmet. Hentet fra SIMIEN.