

Daving, Fredrik J. Lorentzen, Simon J.

Et mer miljøvennlig studentbygg

En utredning av Sørbyen studenthjemms
potensiale til å forsynes av fornybar energi

Bacheloroppgave i Ingeniørfag - Fornybar energi

Veileder: Guri Krigsvoll

Mai 2019

Daving, Fredrik J. Lorentzen, Simon J.

Et mer miljøvennlig studentbygg

En utredning av Sørbyen studenthjemms potensiale til å forsynes av fornybar energi

Bacheloroppgave i Ingeniørfag - Fornybar energi
Veileder: Guri Krigsvoll
Mai 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk

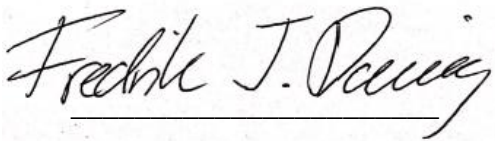
Oppgavens tittel: Et mer miljøvennlig studentbygg	Dato: 19.05.2019		
	Antall sider: 45		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	x
Navn: Fredrik J. Daving og Simon J. Lorentzen			
Veileder: Guri Krigsvoll			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Sit Gjøvik v/leder Arne Mo			

Sammendrag: Denne oppgaven tar for seg Sørbyen studenthjem som forskningsobjekt. Målet med oppgaven er å undersøke om det er mulig å dekke hele energibehovet til bygget med fornybar energi. Det skal brukes en kombinasjon av fjernvarme, vind og solenergi for å dekke behovet for oppvarming og strømforbruk, i tillegg til at det sees på mulighetene for energilagring. Det ble valgt å se på denne problemstillingen fordi mye av fokuset i dagens samfunn ligger på at nye bygg skal være miljøvennlige, og det er lett at eldre bygg blir glemt. For å gjøre målet mer oppnåelig blir det som et forprosjekt utforsket hva som må til for at bygget skal møte standarden for passivhus satt i NS3700. Etter den tenkte renoveringen blir et nytt energibehov beregnet, og deretter undersøkes det hvordan behovet kan dekkes med fornybar energi. Det utvikles en innovativ ide som går ut på å kombinere vindturbiner og solcellepaneler i en stor kraftpergola på taket av bygningen. Pergolaen har solcellepaneler på oversiden, mens konstruksjonen åpner for muligheten å konstruere en vindtunnel under som gjør det gunstig med vindturbiner. Videre sees det på diverse resultater som kommer av produksjonen, eksempelvis besparelsen i kroner og utslipp. Resultatet av denne undersøkelsen

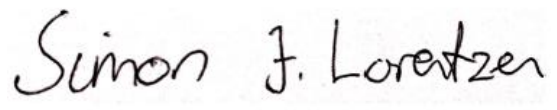
indikerer at det er teoretisk mulig og vil føre til mange fordeler, men det er også mange komplikasjoner som må undersøkes nærmere

Stikkord:

Sørbyen studenthjem
Energieffektivisering
Selvforsynt
Fornybar energi



Fredrik J. Daving



Simon J. Lorentzen

Abstract

In this bachelor thesis, Sørbyen dormitory is the object of research. The objective of this assignment is to verify the possibilities of supplying the building's entire energy demand with renewable energy. A combination of district heating, wind and solar energy will be implemented to satisfy the demands of heat and electricity. This research question were chosen because of the focus on new buildings being environmental friendly, causing the older ones to be overlooked. To facilitate the objective of the assignment, a feasibility study is conducted which aims to examine the necessary measures for the dormitory to meet the standards specified in NS3700 regarding passive houses. After this hypothetical renovation a new energy demand is calculated, and then the required renewable measures that has to be implemented to meet this demand will be investigated. An innovative solution will be developed which involves a power pergola on top of the building that is provided with wind turbines and solar panels. The pergola has solar panels on its upper side while the construction opens up for the possibility to construct a wind tunnel beneath it which makes it convenient for wind turbines. Furthermore the various results the electricity production leads to are analysed, for example the economical benefits and the decrease of emission. The result of this assignment indicates that the project is theoretically possible and leads to many benefits but there are a lot of complications that comes along with it which needs to be examined further.

Forord

Denne oppgaven er et avsluttende prosjekt på bachelorprogrammet Ingeniør i Fornybar Energi ved NTNU i Gjøvik med studentskipnaden SiT som oppdragsgiver.

Dette prosjektet er i all hovedsak en utredning for eierne av Sørbyen Studenthjem. Gjennom denne oppgaven kan SiT få innsikt og kunnskap om hvilket potensiale studentbygget har for etablering av 100% forsyning fra fornybar energi. Denne oppgaven ble valgt med baktanke i de enorme utslippene bygg står for, særdeles gamle bygg med lav kvalitet som fører til store, unødvendige energitap. Arbeidsprosessen forbundet med dette prosjektet har vært svært interessant og kunnskapsrik.

Vi ønsker å takke veileder Guri Krigsvoll, førsteamanuensis ved NTNU Gjøvik, for god oppfølging og konsultering gjennom hele arbeidsprosessen. Vi vil også takke lederen for SiT, Arne Mo, for tilgang på essensielle data samt støtte og engasjement for prosjektet. Til slutt rettes det takknemlighet til venner, familie, bedrifter og andre ansatte ved NTNU Gjøvik for tilbakemeldinger og god hjelp.

INNHALDSFORTEGNELSE

Abstract	III
Forord.....	IV
1. Innledning	1
2. Forprosjekt: Dagens situasjon til passivhus	4
2.1 Isolering	4
2.2 Ventilasjon	5
2.3 Vinduer og dører	6
2.4 Simulering	6
2.4.1 Referansesystemet.....	6
2.4.2 Passivhus	8
3. Energibehovet	11
3.1 Varmebehovet	11
3.1.1 Fjernvarme	11
3.2 Elektrisitetsbehovet	12
3.2.1 Solceller	12
3.2.2 Vind.....	13
3.2.3 Energilagring.....	15
4. Kraftpergola	16
4.1 Solkraft.....	17
4.1.1 Solcellene	17
4.1.2 Paneler i fasade	17
4.1.3 Paneler på pergolaen	18
4.2 Vindkraft	20
4.2.1 Parametere og tekniske spesifikasjoner	20
4.2.2 Dyseeffekt faktoren.....	21
4.2.3 Areal faktor.....	22

4.2.4 Produksjon	22
4.3 Energilagring.....	23
4.4 Total produksjon	24
5. Analyser	26
5.1 Besparelse i kroner.....	26
5.2 Besparelse CO ₂	28
5.3 Variasjon i vær	30
5.3.1 Sol	30
5.3.2 Vind.....	31
6. Diskusjon	33
6.1 Endelig løsning.....	33
6.2 Besparelse i kroner.....	34
6.3 Besparelse CO ₂	34
6.4 Energilagring.....	35
7. Prosjektet i realiteten.....	37
7.1 Simuleringen	37
7.2 Potensialet	37
7.3 Alternativ løsning.....	39
7.4 Sikkerhet og etikk	40
8. Konklusjon.....	41
Referanser	43

FIGURER

Figur 2.1: Oversikt over levert energi til bygningen før renovering (SIMIEN).....	7
Figur 2.2: Fordeling av bygningens energibehov før renovering (SIMIEN).....	7
Figur 2.3: Fordeling av varmetap i bygget, før renovering (SIMIEN)	8
Figur 2.4: Oversikt over levert energi til bygningen etter renovering (SIMIEN)	9
Figur 2.5: Fordeling av bygningens energibehov etter renovering (SIMIEN).....	9
Figur 2.6: Fordeling av varmetap i bygget, etter renovering (SIMIEN)	10
Figur 2.7: Passivhusevaluering i SIMIEN.....	10
Figur 3.1: Nemoi M vertikal vindturbin H-type (Semtive 2019).....	14
Figur 4.1: Forbruk i studentboligen mot tilførsel	24
Figur 5.1: Lønnsomhetsanalyse med energilagring	27
Figur 5.2: Lønnsomhetsanalyse uten energilagring	27
Figur 5.3: Besparelse i årlig utslipp med norsk produksjon.....	29
Figur 5.4: Besparelse i årlig utslipp med norsk varedeklarasjon	29
Figur 5.5: Oversikt over produksjon i Norge og varedeklarasjon 2017.....	30
Figur 5.6: Variasjonen i produksjon fra solceller.....	31
Figur 5.7: Illustrasjon for forventet variasjon i produksjonen fra vindturbiner, 2018 som normalår	32
Figur 5.8: Illustrasjon for forventet variasjon i produksjonen fra vindturbiner, 2018 som nedgangsår.....	32
Figur 7.1: Diagram over utvikling til solceller på forskningsnivå	38
Figur 7.2: Diagram over utvikling til moduler på forskningsnivå	39

TABELLER

Tabell 4.1: Produksjon fra panel i fasaden etter areal	18
Tabell 4.2: Produksjon fra paneler i pergola med hensyn på helningsvinkel og retning	19
Tabell 4.3: Tekniske spesifikasjoner og parametre for turbin brukt i oppgaven.....	21
Tabell 4.4: Oversikt over dyseeffekt med hensyn på helning og resulterende areal på inn/utgang	22
Tabell 4.5: Produksjon per måned med hensyn på helning på pergola.....	23
Tabell 4.6: Total produksjon med hensyn på helning på pergola, og areal i fasadene	25
Tabell 5.1: Besparelse med forskjellige verdier for nominell rente, 3 000 000kr investering.	28

I. Innledning

Drivhuseffekten er i dagens samfunn et kjent problem, hvor utslipp av klimagasser fører til at temperaturen på jorden gradvis øker som vil gi store konsekvenser for klimaet. For å løse dette problemet er man nødt til å se på kildene til utslippene. Den mest kjente og omtalte synderen er transportsektoren, men i en rapport fra SINTEF kommer det fram at reduksjonen i utslippene hovedsakelig burde komme fra energieffektivisering i bygninger (Dokka T.H et.al, 2009). Derfor vil det i denne bacheloroppgaven sees på problematikken forbundet med gamle, utdaterte bygg og utslippene forbundet med disse. Hovedproblemet med bygningene er at energibehovet, spesielt behovet for oppvarming, er stort på grunn av dårlig standard. Derfor ble Sørbyen studenthjem valgt som forskningsobjekt; et nesten 50 år gammelt bygg med stort potensiale for forbedringer. Det skal da i denne oppgaven sees på problemstillingen:

“Vurdere nødvendige tiltak for reovering av studenthjemmet, for å oppnå standarden for passivhus og dekke energibehovet utelukkende med fornybar energi.”

Prosjektet tar for seg, som det sies i problemstillingen, mulighetene for at Sørbyen studenthjem i Gjøvik kan bli et mer miljøvennlig bygg forsynt av fornybar energi, og hvilke nødvendige tiltak og løsninger som må implementeres for å oppnå dette. Det settes fokus på kreativitet og innovasjon for å løse problemstillingen, samtidig som det stilles et kritisk perspektiv til hva som er realistisk og gjennomførbart. Idéen var opprinnelig skapt av studentene selv, og da den ble presentert for oppdragsgiver/veileder, ble den mottatt med stort engasjement. Når energibehovet til studenthjemmet reduseres, vil ikke bare utslippet gå ned, men også den årlige kostnaden. Derfor kan oppdragsgiver både ha økonomisk og miljømessig fortjeneste på et slikt prosjekt.

Oppgaven er delt opp i åtte deler, hvor første del tar for seg bakgrunnen for prosjektet, problemstillingen og målet med oppgaven. Del 2 er i all hovedsak forprosjektet til oppgaven som tar for seg hvordan bygget kan oppnå passivhusstandard og hvilke tiltak som er nødvendig i den forbindelse. Her presenteres hvordan byggets stand er per dags dato og hvordan energiforbruket fordeler seg på ulike poster, samt hvordan de samme verdiene er etter den hypotetiske reoveringen. Del 3 tar for seg hvilke metoder som kan brukes for å forsyne bygget med fornybar energi, samt litt grunnleggende teori for å støtte opp

iverksettelsen av disse forslagene. I del 4 blir selve løsningen på byggets strømforsyningssystem, Kraftpergola, fremlagt samt tilhørende resultater for dens produksjon og sentrale tekniske spesifikasjoner. Her settes det fokus på optimalisering av den presenterte løsningen for å sette best mulig forutsetning i henhold til å nå målet. I del 5 blir resultatene fra foregående del analysert. Delen inneholder sensitivitetsanalyser, henholdsvis for å undersøke besparelsene i kroner og utslipp, forbundet med at bygget er forsynt med kun fornybar energi. I del 6 og 7 blir resultatene diskutert, hvor det settes fokus på ulike hindringer, usikkerheter og begrensninger som er forbundet til en eventuell iverksettelse av løsningen. Her trekkes det også fram mulige feilkilder ved oppgaven. Dette baner veien videre for del 8 som er konklusjonen. Det bør nevnes at vedleggene i denne oppgaven er svært viktige, ettersom de inneholder beregninger og data som brukes gjennom hele oppgaven.

Begrepsforklaring

Passivhus	I mangel på en offisiell norsk definisjon defineres passivhus i denne oppgaven som hus hvor energibehovet er lavere enn konvensjonelle hus, som et resultat av passive innretninger som isolering.
U-verdi	Benevning: W/m^2K Definisjon hentet fra Byggforsk 470.101, U-verdi (varmegjennomgangskoeffisient) er et mål på hvor lett en bygningskomponent slipper gjennom varme. U-verdien angir hvor mye varme per tidsenhet, målt i watt (W), som kan strømme gjennom et areal på $1 m^2$ ved en konstant temperaturskjell på $1 K$ mellom omgivelsene på varm og kald side av konstruksjonen. En godt isolert bygningsdel har derfor lav U-verdi (Byggforsk, 2003).
Infiltrasjonstap	Tap som forekommer av luftlekkasjer gjennom utettheter i bygningskroppen.
Termisk konduktivitet	Også kjent som lambdaverdi. Beskriver materialets evne til å lede varme ved termisk konduksjon. Benevning: W/mK

Virkningsgrad	Beskriver evnen en enhet har til å omforme en form for energi til en annen, for eksempel en generator som omgjør mekanisk energi til elektrisk.
Kinetisk energi	Energien som en masse har, som et resultat av bevegelse, eksempelvis luftmasse i bevegelse (vind).
Elektrisk energi	Energi fra elektriske felt, brukes til daglig i strøm og må brukes med en gang det produseres.
Pergola	En konstruksjon som opprinnelig brukes for å skygge i hager, består av et visst antall ben og en form for tak.
Dyseeffekt	En effekt som oppstår som et resultat av kontinuitetslikningen, og fører til at en luftstrøm som kommer inn på den ene siden av dysen får en økt hastighet ut gjennom andre siden.
Nominell effekt	Den største effekten en vindturbin kan produsere uten å selv ta skade.
Turbulens	Beskrives som tilfeldige og uregelmessige endringer i en væskestrøm, som luftstrøm. Blir i fluidmekanikk ofte sett i direkte sammenheng som tap.
Spotpris	Prisen på elektrisk kraft som beregnes av Nordpool, som er en børs for elektrisk kraft.

2. Forprosjekt: Dagens situasjon til passivhus

For at det skal være realistisk at bygget bruker kun fornybar energi, er det nødvendig å senke dagens energibehov. Dette kan gjøres på ulike måter, som for eksempel ved installering av LED-sparepærer, sparedusjer og lignende. I denne oppgaven vil det imidlertid forsøkes å senke energibehovet til oppvarming, og som et forprosjekt er det bestemt å gjennomføre en hypotetisk renovering med mål å heve bygget til passivhus standard. Det vil si at man ved bruk av passive metoder, som etterisolering og utskifting av vinduer, gjør at byggets evne til å holde på varme øker. Dermed synker oppvarmingsbehovet, og hovedprosjektets mål om å dekke huset med fornybar energi blir mer oppnåelig.

For å få en oversikt over byggets energifordeling, ble det gjort beregninger etter NS3031 med programmet SIMIEN som verktøy (Standard Norge, 2016). Hensikten med dette var å lage en modell for studentboligen, som deretter kunne brukes som et referansesystem til videre beregninger. For å gjøre dette var det nødvendig med data om bygget og dets dimensjoner, som kan hentes fra plantegninger og lignende. Verdier som ikke var tilgjengelig ble bestemt i henhold til NS3031. Videre ble det brukt en innebygd funksjon i SIMIEN kalt passivhusevaluering, som sammenligner bygget mot kravene satt i NS3700 (Standard Norge, 2013), for å fastslå hva som måtte til for at de skulle bli tilfredsstillt.

2.1 Isolering

Etterisolering er en svært sentral del for å oppnå disse verdiene. Byggets yttervegg består per dags dato av 15 cm betong som er utstyrt med 10 cm isolasjon av mineralull, hvor tilnærmet halvparten av fasaden er dekket med et lag teglstein på 10 cm. På resterende halvpart over og under vinduene til hyblene er det sammen med 10 cm mineralull også satt opp bindingsverk, men her er det ikke dekt med tegl.

Standarden NS3700 informerer om at typisk U-verdi for yttervegg til passivhus er på 0,11 W/m²K, som ble brukt som en veiledende verdi for å oppnå kravet for transmisjonstap gitt i samme standard. En lav U-verdi legger til rette for et lavt transmisjonstap, og vil dermed redusere energibehovet for oppvarming. For at ytterveggene skal tilfredsstillte dette kravet er

det nødvendig å fjerne den eksisterende fasaden som er i kontakt med det nåværende isolasjonslaget, og skifte ut mineralullen. Det ble nøye vurdert om det kunne være aktuelt å legge et ytterligere lag med isolasjon over den som allerede er tilstede, men dette vil føre til en lite estetisk og praktisk tykkelse på veggen. I tillegg har isolasjonsevnen til den nåværende mineralullen trolig tapt seg, og det vil derfor lønne seg å erstatte den med et annet isolasjonsmateriale som har lavere termisk konduktivitet (lambdaverdi).

En viktig faktor å ta hensyn til er det nye materialets lambdaverdi. Denne bør være lav slik at isolasjonslaget ikke blir for tykt, og dermed ikke fører til større endringer i ytterveggenes konstruksjon. Polyuretanskum er et isolasjonsmateriale som tilfredsstiller dette, og som veiledende verdier for dette materialet er det tatt utgangspunkt i det tekniske bladet til Foam-LOK 2000 4G, produsert av LAPOLLA (Scandicfoam 2019). Kort forklart består dette produktet av en væske som etter påføring på ønsket området ekspanderes opp til 40 ganger sitt væskevolum. Væsken sprayes på overflaten av betongveggen, og etter å ha ekspandert, danner et svært tett lag med lav termisk konduktivitet på 0,021 W/mK. Dette legger til rette for at 200 mm lag med ekspandert skum vil gi hele ytterveggen en U-verdi på 0,104 W/m²K, se vedlegg A, som er godt under den veiledende verdien for passivhus standard. Som et resultat av isolasjonens tetthet vil det føre til en sterk reduksjon av kuldebroer i betongveggen, i tillegg til at lekkasjetallet for ytterveggen vil tilfredsstille passivhuskriteriet. Til slutt er en annen fordel at polyuretanskum har fått godkjent miljøsertifikat av forskningsinstituttet SINTEF (Plesser, 2017), som tilsier at produktet har et lavt innhold av helse- og miljøskadelige forbindelser og har ingen skadelig påvirkning på inn klima.

2.2 Ventilasjon

Ventilasjonsanlegget i Sørbyen studenthjem er et av aspektene ved bygget som ikke har blitt endret noe på. Anlegget er av typen mekanisk ventilasjon og fungerer ved at gammel luft trekkes ut av vifter, normalt plassert på våtrom og kjøkken, og ny luft tilføres gjennom ventiler og utettheter i bygningskroppen. Den største ulempen med mekanisk ventilasjon er at når varm luft trekkes ut fra rommene, og ny kald luft tilføres kreves det mye energi for å varme opp den nye luften. Som et bedre alternativ finnes balansert ventilasjon, hvor det er separate kanaler som tilfører ny luft, og trekker ut gammel luft. På denne måten åpnes mulighetene for bruk av varmegjenvinning, som kort forklart fungerer ved at varmen fra

Luften som trekkes ut av rommene, kan overføres til den kalde luften i tilførselskanalen. Dermed kan denne luften brukes til å dekke deler av oppvarmingsbehovet, og begrense bruken av varmeovner. Kravet satt i NS3700 til virkningsgraden på slike varmegjennvinnere er 80%. Videre settes kravet til SFP (Specific Fan Power) til $1,5 \frac{\text{kW}}{\text{m}^3/\text{s}}$, og sier noe om hvor mye effekt viftene trekker for å sørge for tilstrekkelig luftutskifting. Ved innføring av et riktig dimensjonert balansert anlegg, kan man anta at både kravet til SFP og varmegjenvinning tilfredsstilles (Lavenergiprogrammet, 2018).

2.3 Vinduer og dører

Vinduene ble byttet i 1996 da det ble gjort en mindre renovering, og har dermed U-verdi på $2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ som er kravet satt i byggeforskrift 1987 (Kommunaldepartementet, 1987). Kravet satt i NS3700 er derimot strengere hvor gjennomsnittlig U-verdi på vinduer og dører må være mindre eller lik $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. For å oppnå dette må alle vinduene samt balkongdørene i hver etasje skiftes ut.

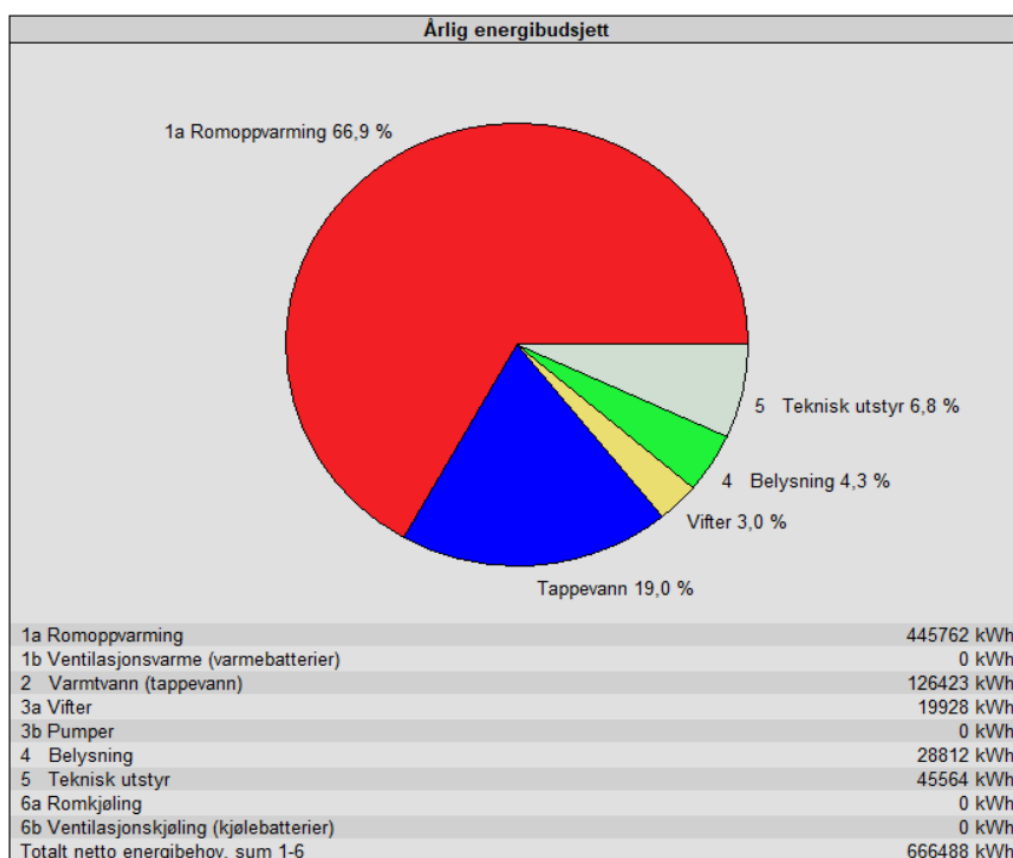
2.4 Simulering

2.4.1 Referansesystemet

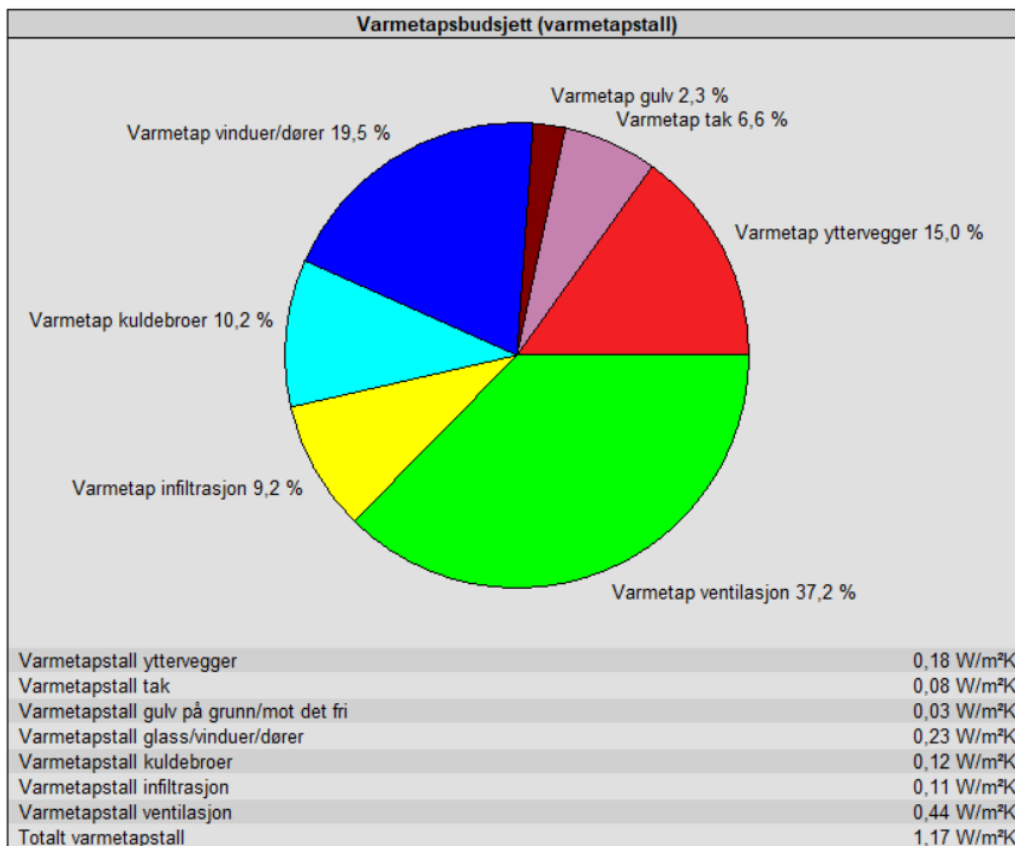
Med verdiene for dagens situasjon nevnt ovenfor samt dimensjoner for bygget, som høyde og antall rom, ble det estimert at årlig levert energi til bygget er på 802 123 kWh. Fordelingen av energibehovet er gjengitt i figur 2.2 hvorav romoppvarming står for 445 762 kWh, som tilsvarer 66,9% av totalen. Disse resultatene støtter valget om å forbedre byggets evne til å holde på varmen. Til slutt kan man se av figur 2.3 at varmen som blir ført ut med luften står i dag for 37,2% av varmetapet.

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	802123 kWh	205,7 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-7	802123 kWh	205,7 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	802123 kWh	205,7 kWh/m ²

FIGUR 2.1: OVERSIKT OVER LEVERT ENERGI TIL BYGNINGEN FØR RENOVERING (SIMIEN)



FIGUR 2.2: FORDELING AV BYGNINGENS ENERGIBEHOV FØR RENOVERING (SIMIEN)



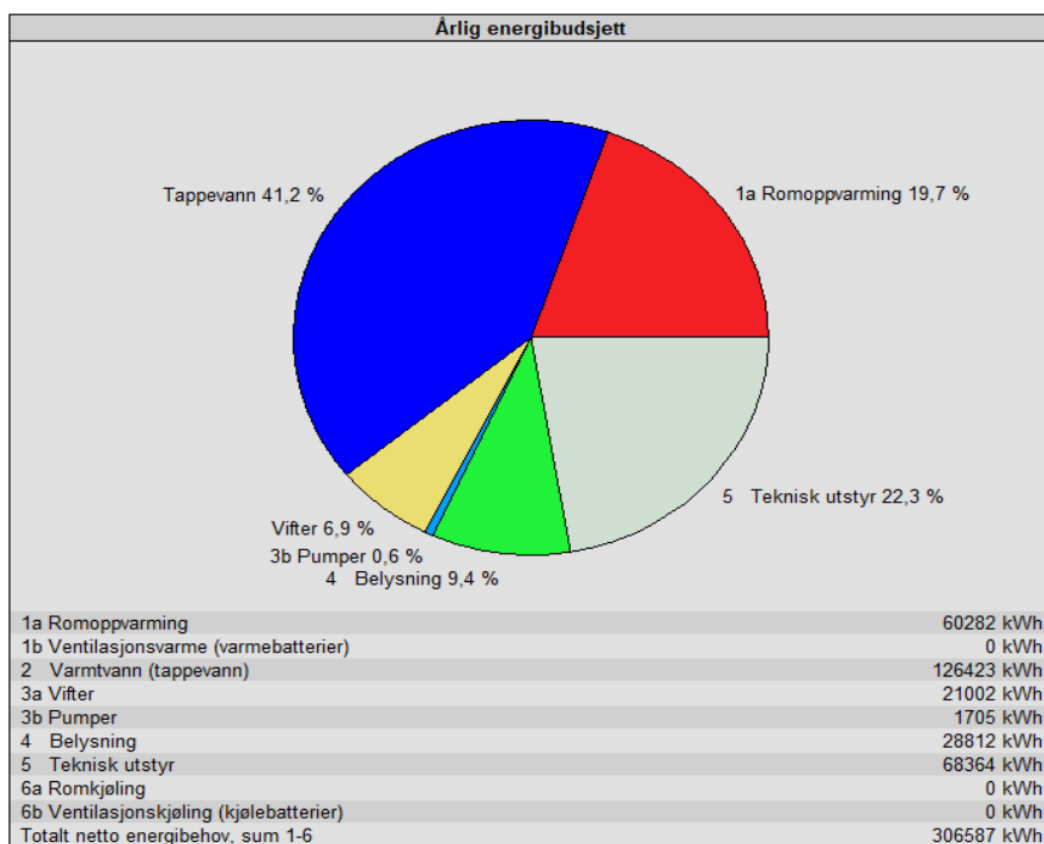
FIGUR 2.3: FORDELING AV VARMETAP I BYGGET, FØR RENOVERING (SIMIEN)

2.4.2 Passivhus

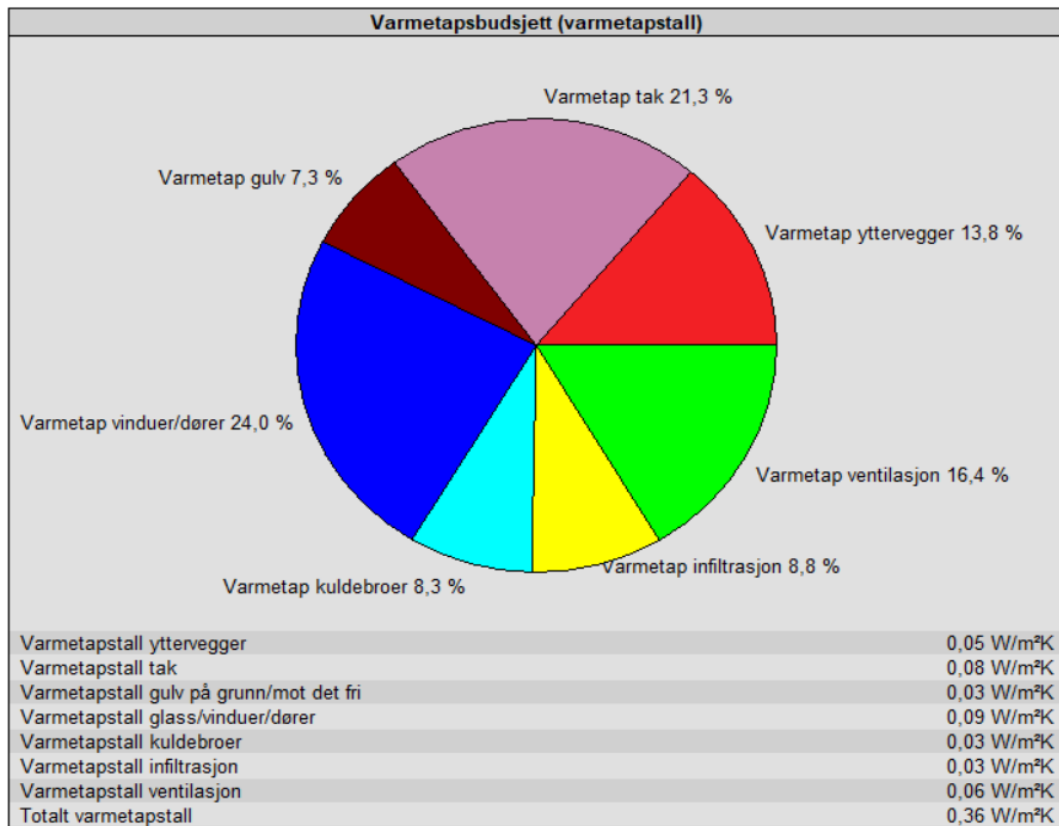
Gjennom simuleringen, ved bruk av de nye verdiene fra den hypotetiske renoveringen, konkluderte SIMIEN med at bygget nå tilfredsstiller kravene for passivhusstandard, som vist i figur 2.7. Et sammendrag av tiltakene som ble gjort finnes i vedlegg B. Det nye energibehovet ble beregnet på nytt, og diagrammet i figur 2.4 viser at det nå årlig leveres 315 129 kWh, en reduksjon på tilnærmet 60,7%. Videre kommer det fram at behovet for romoppvarming nå tilsvarer 60 282 kWh, altså en nedgang på tilnærmet 86,5%. Målet med forprosjektet ansees som nådd, og det totale energibehovet som skal dekkes er på 315 129 kWh. Hvis det antas at romoppvarming kan utføres med strøm, vil strøm og varmtvann stå for 186 126 kWh, og 126 423 kWh respektivt. Til slutt kommer det også fram at den balanserte ventilasjonen reduserer varmetapet, og står nå for 16,4% av varmetapet.

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	186126 kWh	47,7 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	129003 kWh	33,1 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-7	315129 kWh	80,8 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	315129 kWh	80,8 kWh/m ²

FIGUR 2.4: OVERSIKT OVER LEVERT ENERGI TIL BYGNINGEN ETTER RENOVERING (SIMIEN)



FIGUR 2.5: FORDELING AV BYGNINGENS ENERGIBEHOV ETTER RENOVERING (SIMIEN)



FIGUR 2.6: FORDELING AV VARMETAP I BYGGET, ETTER RENOVERING (SIMIEN)

Resultater av evalueringen	
Evaluering mot NS 3700:2013	Beskrivelse
Varmetapsramme	Bygningen tilfredstiller kravet for varmetapstall
Energiytelse	Bygningen tilfredsstiller krav til energiytelse
Minstekrav	Bygningen tilfredsstiller minstekrav til enkeltkomponenter
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstiller minstekrav gitt i NS3700:2013
Samlet evaluering	Bygningen tilfredstiller alle krav til passivhus

FIGUR 2.7: PASSIVHUSEVALUERING I SIMIEN

3. Energibehovet

Selv om tilnærmet all strømproduksjon i Norge er fornybar, fører eksport og import av strøm til at man ikke kan være sikker på at strømmen man bruker er fra fornybare kilder. I Norge er det en ordning som kalles nasjonal varedeklarasjon, som sier fra hvilke energikilder strømmen på det norske markedet har sin opprinnelse fra. Den beregnes hvert år og tar hensyn til handelen med andre land og opprinnelsesgaranti. Sistnevnte er en garanti fra strømleverandørene som gis til kunder, for at de skal vite at selskapet produserer like mye elektrisitet fra fornybare kilder som man bruker. I denne oppgaven ansees en slik løsning som korttenkt ettersom det ville skapt store problemer for leverandørene om alle kundene samtidig skulle bestemme seg for at de ønsket opprinnelsesgaranti. Denne delen av oppgaven presenterer derfor løsninger for å gi Sørbyen studenthjem gunstige forutsetninger til å kunne dekke varme og elektrisitetsbehovet med fornybar energi.

3.1 Varmebehovet

3.1.1 Fjernvarme

Fjernvarme er en måte å distribuere varme på med bruk av vann som medium. Ved forbrenning av ulike brensler, blir vann varmet opp i en fjernvarmesentral før det transporteres gjennom et rørnett, kalt et fjernvarmenett, ut til varmtvannssentraler. Herfra kan vannet føres videre til de forskjellige husholdningene for å dekke deres behov for tappevann og oppvarming (Gebremedhin, 2018).

For å få mer informasjon om de forskjellige mulighetene for tilkobling, ble det tatt kontakt med Alf Inge Kraglund Tunheim i Eidsiva. Da kom det fram at hvis man bruker fjernvarme til å kun dekke behovet for tappevann kalles det halv konvertering, mens det kalles hel konvertering hvis man dekker begge behov. Disse konverteringsløsningene har svært ulike investeringskostnader, hvor halv er vesentlig billigere enn hel. Eidsiva estimerer at halv konvertering ligger på omtrent 200-250 kr/m² bruksareal, mens hel konvertering vil havne på rundt 1000-1500 kr/m². Dette vil kun være veiledende verdier og den faktiske kostnaden vil

varierte ut ifra bygget som skal konverteres. Tilkoblingen til fjernvarmenettet i Gjøvik ligger på 200 000kr, uavhengig av valgt løsning.

Den mest åpenbare fordelene med å konvertere til fjernvarme fra elektrisk oppvarming, er at det er 100% fornybart. Dette er så klart gitt at energikilden brukt til oppvarming av vannet hos fjernvarmeanlegget er fornybart. Norsk Fjernvarme har en tjeneste kalt Fjernkontrollen, som viser oversikten over hvilke kilder som brukes og andelen av disse i gitte områder. I Gjøvik i 2018 kom i all hovedsak varmen fra bioenergi, hvorav 3% var pellets, 2% var bioolje, 2% var biogass og 93% var returtre. Returtre er trevirke som tidligere har hatt et annet formål, som for eksempel byggavfall, og som videre får et nytt bruksmål som forbrenningsmateriale. På denne måten utnytter man treets fulle potensiale. Allikevel er fossile brensler tilstede ettersom dens høye brennverdi gjør den egnet til å dekke uventede effekttopper i etterspørselen. Derfor sto fossil olje for 3% av energien til fjernvarme i Gjøvik, men den totale produksjonsmiksen vil i denne oppgaven likevel anses som fornybart (Norsk Fjernvarme, 2018).

3.2 Elektrisitetsbehovet

3.2.1 Solceller

Solceller er en vanlig måte å omgjøre solenergi til elektrisitet på, og det har vært en stor økning i interessen de siste tiårene. Som et resultat har virkningsgraden på solcellene økt mens prisen har sunket, og dette har igjen gjort teknologien mer attraktiv for privatboliger. Mest vanlig er det å installere solcellene på taket, men det har også kommet løsninger som gjør det mulig å ha solceller i fasaden. I IEA sin rapport Trends in photovoltaic application kommer det fram at det i hovedsak er tre forskjellige teknologier som dominerer markedet; monokrystallinsk silisium, polykrystallinsk silisium og tynn-film. Mono- og polykrystallinske solceller er laget av silisium, og hovedforskjellen er produksjonsprosessen som fører til forskjeller i renheten av silisium i materialet. Monokrystallinske solceller har en mer energikrevende prosess som fører til en høyere renhet sammenlignet med polykrystallinske. Dette gjør at sistnevnte typen vil ha en virkningsgrad i intervallet 14 til 18%, mens den for monokrystallinske vil være noe høyere. Den tredje typen, nemlig tynnfilm, kan bestå av silisium men også andre stoffer. Fordeler ved denne typen er at den lettere kan masseproduseres og er dermed billigere. Videre er den mer fleksibel noe som gjør den mer

anvendelig og penere i bruk, men derimot er virkningsgraden en stor ulempe ved disse solcellene, og ligger mellom 7 og 16% (Mason, G. og Kayzuka, I., 2018).

Når solceller skal installeres i privatboliger trenger man et apparat for å konvertere strømmen, kalt inverter. Denne sørger for at strømmen som solcellene produserer har riktig form og spenning, og har i all hovedsak som oppgave å konvertere strømmen produsert av solcellene fra likestrøm til vekselstrøm.

Hvorvidt solceller er en miljøvennlig løsning er omdiskutert. På den ene siden er silisium et av de vanligste grunnstoffene på jorden, men på den andre siden kreves det mye vann og energi i produksjonen av solcellene. Et viktig hjelpemiddel som tar for seg dette er life cycle assessment (LCA). Denne analysen følger hele solcellenes livsløp, fra produksjonsprosess til avfallshåndtering, og tar for seg miljøpåvirkninger og utslipp forbundet til dette.

3.2.2 Vind

Vind er en svært utbredt energikilde i dagens fornybare energisystemer, og oppstår som et resultat av trykkforskjeller i luften. Dermed kan man ved bruk av vindturbiner omforme vindens kinetiske energi til mekanisk energi, som videre kan gjøres om til elektrisk energi ved hjelp av en generator.

Det finnes to hovedtyper vindturbiner, horisontale og vertikale, hvor sistnevnte er den mest utbredte. Denne typen består som oftest av tre separate blader som roterer rundt en felles akse. Disse turbinene krever en høy vindhastighet for at de skal begynne å produsere strøm kalt cut-in hastighet, som typisk ligger rundt 4-5 m/s og er derfor ikke gunstige i urbane områder. De vertikale turbinene bruker oppdrift for å generere elektrisitet, og i en undersøkelse utført av M. Ragheb kommer det fram at en fordel med disse er at de kan operere på lavere hastigheter enn horisontale (Ragheb, M. 2015). De har også den fordelen at retningen på bladenes treghetsmoment holdes stabil ved alle tider, i motsetning til de horisontale hvor bladene vil bli påvirket av gravitasjon som fører til at de blir utsatt for en alternerende last. Dette har videre en negativ innvirkning på bladenes og generatorens ytelse og utholdenhet (Manual, J., McGowan, J. og Rogers, A. 2009).

De mest kjente designene for vertikale vindturbiner ble utviklet av franskmannen Georges Jean Marie Darrieus. En av hans oppfinnelser fikk navnet H-rotor og er en vindturbin

bestående av tre parallelle blader festet i en felles akse, se figur 3.1. I en artikkel skriver M.H. Mohamed om dette designet og dets mange fordeler, blant annet dens kompakte utforming og at den ikke trenger tilkobling av girkasse. Den har også en lav tip-speed ratio, som er forholdet mellom bladenes tangentielle hastighet og vindens hastighet. Dette fører til lite aerodynamisk støy, som gjør den velegnet til bruk i boligområder. Slike vindturbiner kommer med en stor ulempe, nemlig at de ikke er selvstartende, som vil si at de trenger et startmoment for å komme i gang (Mohamed, M.H. 2012).



FIGUR 3.1: NEMOI M VERTIKAL VINDTURBIN H-TYPE (SEMITIVE 2019)

For å beregne produksjonen av vindkraft er formel 3.1 brukt, hvor det i tillegg er tatt hensyn til generatorens virkningsgrad i parameteren η . Rho (ρ) er luftens tetthet og er i denne oppgaven konstant. Power coefficient (C_p) er verdien på hvor mye av vindens kinetiske energi turbinen klarer å omgjøre til mekanisk energi. S er sveipet areal og er det overflatearealet på luftrommet som turbinbladene dekker ved rotasjon sett fra et todimensjonalt perspektiv. Siste faktoren v er vindens hastighet og ettersom den er opphøyd i tredje potens vil små svingninger ha store betydninger for produksjonen. Fra formelen kan man se at det er lite som er mulig å justere for å øke produksjonen. Hverken vindens hastighet eller tetthet kan endres, og man er etterlatt med mulighetene til å øke sveipet areal eller forbedre mekanikken for å øke dens virkningsgrad.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_p \cdot \eta \cdot S \cdot v^3 \quad (3.1)$$

I tillegg til nevnte formel er det andre begrensninger man må ta hensyn til når det kommer til vindkraft. Den første av disse er cut-in, og i likhet med denne finnes det også en cut-out

hastighet, som viser til vindens hastighet når turbinens produksjon opphører. Dette er av sikkerhetsmessige årsaker, ettersom for høy rotasjonshastighet på bladene kan føre til at turbinen tar skade. Til slutt finnes det for vindturbiner en nominell vindhastighet som er den hastigheten hvor den fungerer optimalt. Når vinden når hastigheter over denne vil den fortsette å produsere samme effekt, fram til cut-out.

3.2.3 Energilagring

Fornybar energi som sol og vind er påvirket av vær, og av den grunn vanskelig å forutse. Det er heller ikke gitt at man vil få produsert energi når man trenger den, og det blir derfor brukt forskjellige teknologier for energilagring i energisystemer med fornybar energi. Disse teknologiene blir brukt for å lagre energi som produseres når behovet er lavere enn produksjonen, og deretter bruke denne energien senere. For eksempel produserer solceller på privatboliger mest energi midt på dagen, når det som oftest er ingen hjemme og behovet derav er lavt. Oppladbare batterier kan da lagre denne energien til senere bruk, og man slipper å forsynes fra nettet. Det som er viktig å tenke på når man skal dimensjonere et slikt batteri er først og fremst at det har den nødvendige kapasiteten (i kWh) til å lagre det som blir produsert. Videre må det også klare å levere den effekten en vil bruke, og denne verdien er gitt av produsenten (i W) som steady og peak power. Steady power er batteriets effektytelse ved vanlig drift, og er det den kan levere til enhver tid for å dekke det jevne forbruket. Peak power er batteriets maksimale ytelse, og begrenses til korte tidsintervaller for å dekke effekttopper i forbruket.

4. Kraftpergola

For å sikre at hele energibehovet dekkes med fornybar energi skal det defineres en løsning som kombinerer fjernvarme og forskjellige metoder for å produsere strøm. Det ble utviklet en idé som appellerer til det kreative, men også det innovative, samtidig som det er en praktisk løsning på problemstillingen. Metoden brukt i oppgaven er en innovativ prosess støttet med beregninger, og det skal ved uttesting forsøkes å optimalisere ideen. Deretter vil en valgt løsning av ideen undersøkes ytterligere.

Idéen går ut på å plassere en pergola på toppen av bygget som er dekket av solceller. Fordelen med en slik ordning er at solcellepanelene blir hevet, og den åpner for muligheten å ha en helning på pergolaen. Helningen vil tillate et større areal på anlegget og gjøre at solens innstråling treffer mer ortogonalt. Dette er foretrukket ettersom teorien tilsier at en mer rettvinklet innstråling resulterer i en større produksjon.

Helningen på pergolaen vil skape en høydeforskjell mellom hver av dens to ender og det dannes et åpent rom under, se prinsippskisse vedlegg C. Dette åpne rommet brukes til å konstruere en form for vindtunnel, hvor to av sidene har vegger. Dermed må all vind som kommer inn den ene enden, føres ut den andre. I kombinasjon med høydeforskjellen vil det oppstå en dyseeffekt i tunnelen. Denne effekten gjør at vinden som kommer inn under enden med størst høyde vil få en økt hastighet når den kommer ut på andre enden. Vindturbiner plassert på enden med lavest høyde kan utnytte denne effekten for å produsere elektrisitet.

Som nevnt tidligere er hele energibehovet til bygget i dag dekket med elektrisitet fra nettet. Et bidrag til å tilfredsstille problemstillingen vil være å bruke fjernvarme til å varme opp i stedet for elektrisitet. Tappevannsbehovet endret seg ikke noe etter reoveringen, og er på 126 423 kWh, og oppvarmingsbehovet er på 60 282 kWh. Det blir i denne oppgaven først sett på hvor mye strøm som produseres, og deretter gjort en vurdering hvorvidt det skal gjennomføres en hel eller halv konvertering av bygget.

4.1 Solkraft

For produksjon av solkraft vil det i tillegg til solcellene installert på pergolaen bli sett på mulighetene for å ha paneler i fasaden. SIMIEN brukes for å simulere solcelle-anlegget, og verdiene som føres inn er areal, nominell virkningsgrad på solcellen, tapsfaktor panel og inverter, helningsvinkel og himmelretning. I tillegg er det muligheter for å ta hensyn til snødekke på panelene ved at det settes en tidsperiode hvor produksjonen opphører, og det antas at det vil ligge snø fra første desember til første mars. Til slutt kan det og føres inn hvordan horisonten ser ut for solcellene, dette for å regne ut effekten av diverse skygger.

4.1.1 Solcellene

I et forsøk på å oppnå det overordnede målet og størst mulig produksjon, vil det bli brukt de mest effektive panelene på markedet. Selskapet SunPower lanserte for ikke lang tid siden det så langt mest effektive solpanelet på markedet, navngitt SunPower X-Series X22-370. Ifølge produktets respektive datablad har det en virkningsgrad på 22,7% (SunPower, 2018), som er den virkningsgraden det vil tas utgangspunkt i for de videre estimatene for produksjonen fra solcellene. Videre antas det at de nevnte solcellene kan brukes for både pergolaen og fasadene, og tapsfaktor i panelet settes til standardverdien 0,89. Modeller for invertere som kan kjøpes fra Eidsiva energi, eksempelvis Sungrow SG50KTL-M-20, har en virkningsgrad på 98% (Eidsiva, 2019) og er den verdien som vil bli brukt i beregningene.

4.1.2 Paneler i fasade

Med tanke på solens bane vil sør- og østsiden være aktuelle for å installere paneler i fasaden, og himmelretningen er henholdsvis 157,5° og 67,5° fra nord. Panelene er festet vertikalt på veggen så helningsvinklene settes derfor til 90°. Som en konsekvens av dette vil det ikke tas hensyn til snødekke ettersom det trolig ikke vil legge seg. Deretter blir horisonten illustrert, hvor det på østsiden er ingenting i umiddelbar nærhet, mens det på sørsiden er en bygning ca. 150 m unna som kan kaste skygger på tilhørende panel. Arealet på fasadene er 550 og 547 kvadratmeter for henholdsvis sør og øst, og det vil i utgangspunktet brukes alt tilgjengelig areal på fasadene. For å ta hensyn til vinduer og eventuelle andre forhindringer settes det maksimale arealet til 400 m², men dersom det resulterer i overflødig produksjon kan det

skaleres ned for å unngå unødvendige investeringskostnader. Derfor gjøres det også beregninger på 200 m² og 300 m². Resulterende produksjon gjengis i tabell 4.1.

TABELL 4.1:

PRODUKSJON FRA PANEL I FASADEN ETTER AREAL

Fasade	Areal	Årsproduksjon [kWh]
Sør-Sørøst	200	24 130
	300	36 194
	400	47 630
Øst-Nordøst	200	16 524
	300	24 786
	400	32 617

4.1.3 Paneler på pergolaen

De forskjellige parameterne som skal varieres for panelene er himmelretningen og helningsgraden. Det vil bli sett på retningene sør, øst og sør-sørøst som er byggets orientering. Vest er ikke vurdert, fordi det er en ås på denne siden av bygget som vil skygge for solen og dermed gjøre det ugunstig. Det vil heller ikke sees på nord, ettersom dette er motsatt retning av solens bane. Hvis forskjellen i produksjon mellom den optimale retningen og byggets egen retning ikke er signifikant, vil pergolaen ha samme orientering som bygget. Videre skal forskjellen i helningsgraden undersøkes og det er valgt å se på 0, 20, 30 og 40 for å avsløre hvilken vinkel som gir størst produksjon. For å sammenligne og undersøke de ulike kombinasjonene av retning og helningsgrad, blir det først satt et kontrollareal på 400 kvadratmeter. Det antas at pergolaen vil stå såpass høyt oppe at nærliggende konstruksjoner ikke vil kaste skygger på solcellene, og dermed kan den årlige produksjonen for hver av kombinasjonene beregnes. I tabell 4.2 er resultatene gjengitt og det kan leses av at sørvendte solceller med en helning på 30° gir størst produksjon. Den samme vinkelen gir størst produksjon for sør-sørøst, og forskjellen er på tilnærmet 0,4%. Denne forskjellen antas ikke

som signifikant, og det vil derfor bli gjort beregninger videre for samme retning som bygget. Det faktiske arealet som kan brukes til solceller bestemmes etter hvilken vinkel det er på pergolaen, som blir gjort i vind-delen.

TABELL 4.2:

PRODUKSJON FRA PANELER I PERGOLA MED HENSYN PÅ HELNINGSVINKEL OG RETNING

Orientering	Helningsvinkel på panel [grader]	Årsproduksjon [kWh]
Øst	0	65 706
	20	63 002
	30	60 762
	40	58 194
Sør	0	65 706
	20	70 840
	30	71 104
	40	69 997
Sør-sørøst	0	65 706
	20	70 517
	30	70 799
	40	68 877

4.2 Vindkraft

Som sagt innledningsvis i kapitlet skal det konstrueres en vindtunnel under pergolaen. En ulempe er at det befinner seg et maskinhus på taket, som er ca. 3m høyt. Huset skaper problemer i form av turbulens, i tillegg til at den forhindrer luftstrømning som fører til at turbiner plassert bak den vil ha tilnærmet null produksjon. For å unngå dette problemet kan det bygges en rampe som vil gå fra toppen av maskinhuset og til enden av taket. Rampen vil også føre til at høydeforskjellen mellom inn- og utgang økes ytterligere som vil forsterke vindtunnelens dyseeffekt.

4.2.1 Parametere og tekniske spesifikasjoner

For å tallfeste verdiene til begrensningene forbundet med produksjonen fra vindkraft, i tillegg til andre relevante tekniske spesifikasjoner, tas det utgangspunkt i Sensitive sin vertikale vindturbin Nemoi M, som har sitt design fra Darrieus' H-rotor (Sensitive, 2019). Cut-out var ikke oppgitt, og ble derfor satt til 25 m/s av sikkerhetsmessige årsaker (Burton, 2011). Videre beregnes S for den valgte turbintypen med formel 4.1, hvor d er diameteren og h er bladenes høyde. Verdien for C_p er i denne oppgaven satt til 0,34, som er utledet for denne typen turbin av forskerne Fadil, Soedibyo og Ashari (Fadil, Soedibyo og Ashari, 2017). En oppsummering av tekniske spesifikasjoner og parameterne som er brukt i beregningene er gjengitt i tabell 4.3.

$$S = h \cdot d \quad (4.1)$$

TABELL 4.3:

TEKNISKE SPESIFIKASJONER OG PARAMETRE FOR TURBIN BRUKT I OPPGAVEN

Teknisk spesifikasjon	Verdi
Diameter (d)	3 m
Høyde (h)	3 m
Cut-in	1,4 m/s
Cut-out	25 m/s
Nominell hastighet, V_n	11 m/s
Nominell effekt, P_n	2400 W
Lufttetthet, ρ	1,25 kg/m ³
Power coefficient, C_p	0,34
Generators virkningsgrad, η	0,95
Sveipet areal, S	9 m ²

4.2.2 Dyseeffekt faktoren

Dyseeffekt er den faktoren i formelen som vil ha størst betydning for den resulterende produksjonen fra vindturbinene. Leddet med vindhastigheten er, som nevnt tidligere, opphøyd i tredje potens og endringer vil ha stor innvirkning. Faktoren ble tatt med for alle dager med vind fra nordsiden, og var kalkulert i henhold til kontinuitetsligningen (formel 4.3), som viser at faktoren bestemmes av forholdet mellom arealene til hver av åpningene. Dette forholdet vil variere med pergolaens helningsgrad, og det ble sett på 0, 20, 30 og 40° for å undersøke hva slags signifikans vinkelen har for dyseeffekten og den resulterende produksjonen.

Dyseeffekten vil gi en ny formel for produksjonen fra vinden, gitt i formel 4.4. Tabell 4.4 viser til de ulike arealene vinklene gir på tunnelens inngang og den tilhørende dyseeffekt faktoren.

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \quad \Leftrightarrow \quad v_2 = v_1 \cdot \frac{A_1}{A_2} = v_1 \cdot D_e \quad (4.3)$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_p \cdot \eta \cdot S \cdot (v \cdot D_e)^3 \quad (4.4)$$

TABELL 4.4:

OVERSIKT OVER DYSEEFFEKT MED HENSYN PÅ HELNING OG RESULTERENDE AREAL PÅ INN/UTGANG

Vinkel	Areal nordside, A_1 [m ²]	Areal sørside, A_2 [m ²]	Dyseeffektfaktor, D_e
0°	120,6	54,75	2,20
20°	281,4	54,75	5,14
30°	375,9	54,75	6,87
40°	492,5	54,75	8,99

4.2.3 Arealfaktor

Til slutt ble det og tatt med en arealfaktor, for å ta hensyn til vindens retning i forhold til pergolaens orientering. For å beregne disse faktorene ble det brukt et bilde av bygget ovenfra, hvor det ble tegnet et kompass over med alle retningene og hjelpelinjer. Deretter ble bredden fra vindens perspektiv på inn og utgangen fra de forskjellige retningene målt, og så dividert med den egentlige bredden. Nordsiden og sørsiden har en bredde på 21,1 m og 19,25 m respektivt. Det ble også tatt hensyn til at eventuelle søyler vil redusere disse, og breddene som ble brukt i beregningene var derfor 20,1 m og 18,25 m. En oversikt over målingene og de resulterende faktorene er lagt ved i vedlegg D, og denne korrigerende faktoren bidrar til et nytt tillegg til produksjonsformelen som dermed blir som vist i formel 4.5.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_p \cdot \eta \cdot S \cdot (v \cdot D_e)^3 \cdot A_f \quad (4.5)$$

4.2.4 Produksjon

Ettersom det ikke var mulig, tidsmessig og ressursmessig, å utføre tilstrekkelig med målinger på bygget for vindhastigheten og retningen, ble 2018 brukt som et referanseår. Det ble antatt konstant vindhastighet og retning for hver dag. Resulterende månedlige strømproduksjon (i kWh) over et år er vist i tabell 4.5

TABELL 4.5:

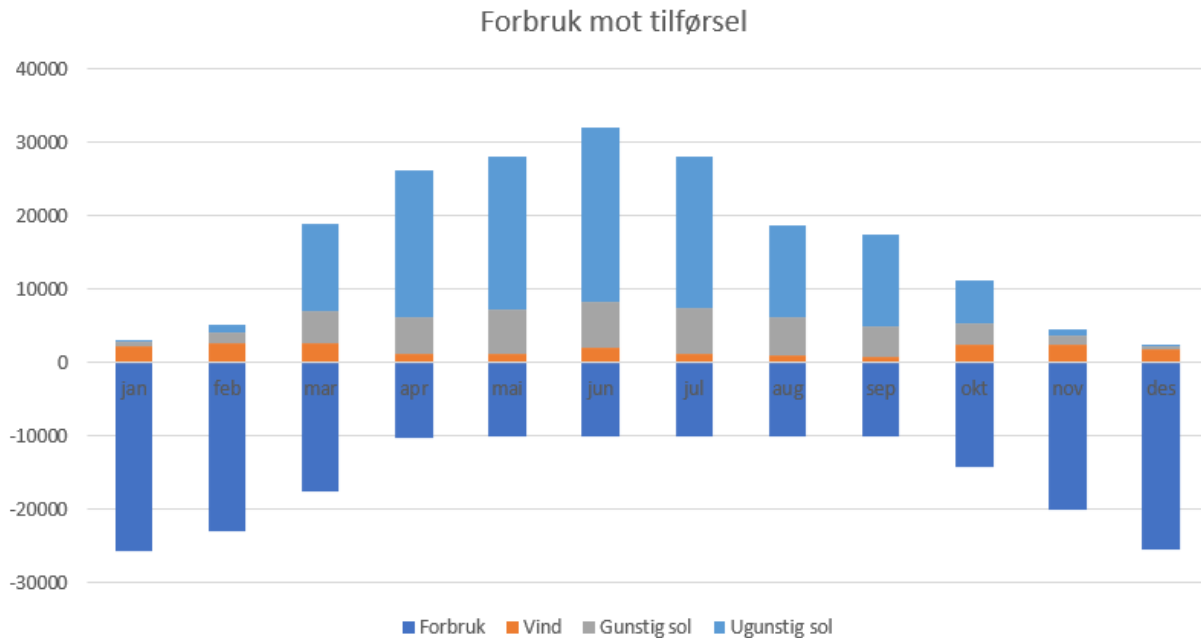
PRODUKSJON PER MÅNED MED HENSYN PÅ HELNING PÅ PERGOLA

Måned \ Vinkel	0°	20°	30°	40°
Januar	237	1 506	2 324	2 352
Februar	283	1 961	2 558	3 058
Mars	284	2 004	2 641	2 548
April	243	1 194	1 132	1 451
Mai	278	1 055	1 214	936
Juni	1 017	1 926	2 073	1 641
Juli	261	1 022	1 157	1 022
August	412	1 008	961	1 020
September	1 011	1 083	708	859
Oktober	728	2 548	2 438	2 431
November	523	2 543	2 503	2 774
Desember	385	1 551	1 859	2 058
Total	5 662	19 401	21 568	22 150

4.3 Energilagring

Når SIMIEN beregner årsproduksjonen fra solcelleanlegget tas det og med hvor mye elektrisitet som blir produsert på ugunstige tidspunkt. For vind er det ikke like enkelt, og det må eventuelt antas en prosentandel for å ta hensyn til dette. Videre kan det da kalkuleres hvor stor kapasitet en eventuell løsning for energilagring må ha. I tillegg kan man med oversikt over effektforbruket i bygget anslå hvor stor peak- og steady power må være. Hvis det i motsetning skulle vise seg at det ikke er mulig, eller fornuftig med energilagring kan strømmen selges tilbake til nettet. I denne oppgaven vil det ikke bli gjort beregninger eller prosjektering for energilagring, men heller undersøkt hva potensialet og mulighetene er for å bruke en slik innretning til et bygg som Sørbyen studenthjem. Fra grafen i figur 4.1 kan man

se at andelen solenergi som kommer på ugunstige tidspunkt er høy. Som forventet kommer det også fram at produksjonen er størst på sommerhalvåret, mens forbruket i samme tidsperiode er lavest.



FIGUR 4.1: FORBRUK I STUDENTBOLIGEN MOT TILFØRSEL

4.4 Total produksjon

Den beste retningen på pergolaen for produksjon er sør, men ettersom forskjellen er akseptabelt liten vil det brukes samme retning som bygget. Videre kom det fram at helningen på panelene som ga størst produksjon var på 30°. Deretter ble det gjort beregninger for produksjonen som er gjengitt i tabell 5.1. Tabellen viser den totale årlige produksjonen fra summen av de forskjellige kombinasjonene. Det tas med produksjonen fra vindturbinene med de forskjellige helningene på pergolaen, fra solcellene med de tilhørende arealene helningene tillater, samt fra panelene i fasadene med de forskjellige arealene. Dermed kan man se at det er fire forskjellige løsninger som vil gi tilstrekkelig med produksjon. Med 20° på pergolaen, og 400 m² med panel på hver fasade vil man få 187 210 kWh. Videre vil 30° helning, og 400 m² med panel på hver fasade resultere i 196 891 kWh. Til slutt vil 40° helning gi 189 204 og 208 471 kWh, med henholdsvis 300 og 400 m² med paneler i fasadene. Selv om løsningen med 40° helning gir størst produksjon vil det for beregninger av videre resultater bli sett på løsningen med 30° helning. Dette valget vil begrunnes i neste del.

TABELL 4.6:

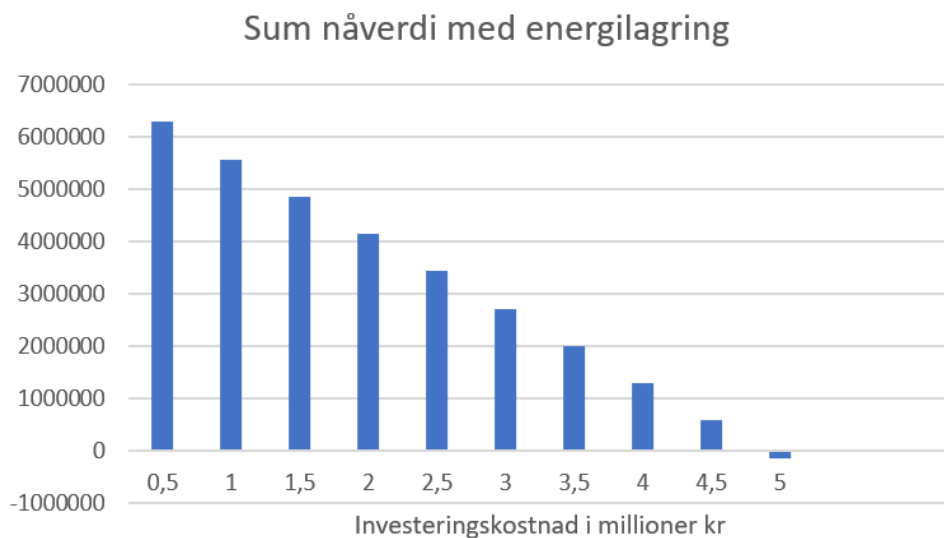
TOTAL PRODUKSJON MED HENSYN PÅ HELNING PÅ PERGOLA, OG AREAL I FASADENE

Helning og areal (pergola)	Areal fasade	Fasade: Sør-sørøst	Fasade: Øst-nordøst	Vind	Pergola	Totalt
0°	200	24 130	16 524	5 662	82 162	128 478
	300	36 194	24 786			148 804
	464,2 m²	400	47 630			32 617
20°	200	24 130	16 524	19 401	87 436	147 490
	300	36 194	24 786			167 816
	494 m²	400	47 630			32 617
30°	200	24 130	16 524	21 568	94 799	157 021
	300	36 194	24 786			177 347
	535,6 m²	400	47 630			32 617
40°	200	24 130	16 524	22 150	105 728	168 531
	300	36 194	24 786			188 857
	606 m²	400	47 630			32 617

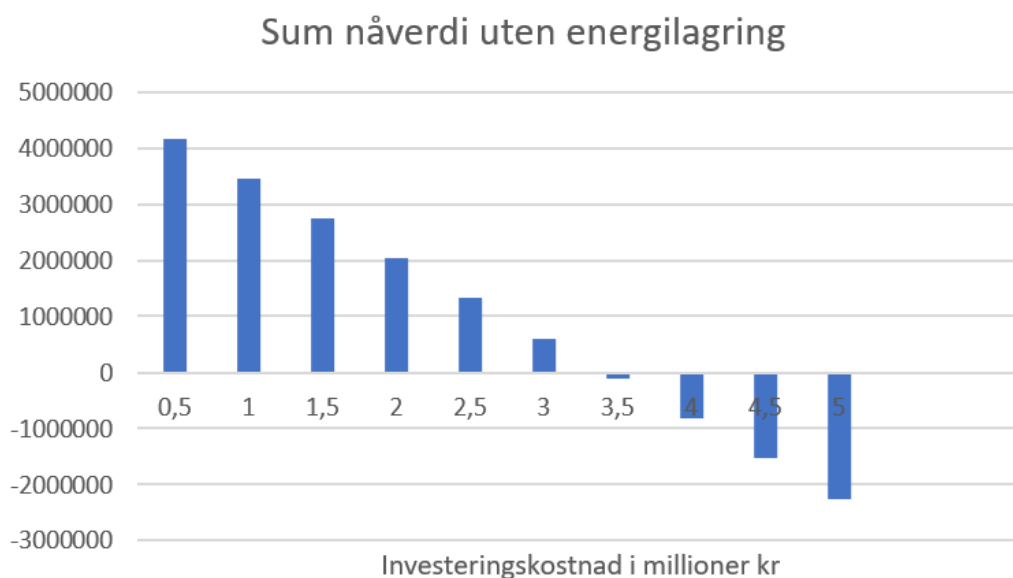
5. Analyser

5.1 Besparelse i kroner

Ettersom ideen som er presentert ikke er en ordinær løsning vil det være svært vanskelig å gjøre et anslag på investeringskostnaden uten en ordentlig befaring. Kostnadene for vedlikehold er noe enklere å anta og K. Nybakk gjorde i 2015 en undersøkelse for NVE om kostnader i energisektoren. Fra undersøkelsene kom det fram at de årlige kostnadene for vedlikehold er 15 øre/kWh for vindkraft, mens det for solcellene tilsvarer 1,5% av investeringskostnaden (Nybakk. K, et. al. 2015). En mulig metode, for å få et inntrykk av hva en akseptabel investeringskostnad kan være, er å gå baklengs og se på differansen mellom kostnaden for energi med og uten selvproduksjon. Dermed får man den årlige besparelsen, og kan ved bruk av nåverdimetoden anslå verdien ved investeringstidspunktet. Under situasjonen med energilagring vil kostnadene bestå av fjernvarme og vedlikehold for sol og vind. Når det ikke er noen teknologi for energilagring tilstede må strømmen som produseres på ugunstige tidspunkt selges tilbake til nettet, og strøm fra nettet dekke resterende behov. Kostnadene blir dermed fjernvarme, vedlikehold til sol og vind samt strøm kjøpt fra nettet, og den solgte strømmen vil være inntekt. Realrenten beregnes av nominell rente, satt lik styringsrenten, samt inflasjonen som er bestemt av Norges bank og er 1 og 2% respektivt. Videre kan man anta en spotpris på 0,5 kr og en strømpris med alt inkludert på 1,15 kr som var gjennomsnittlig pris i 2018, og en kostnad for fjernvarme på 0,9 kr/kWh. Dermed kan man se på forskjellige verdier for investeringskostnaden for å undersøke hvor stor den kan være, og i figur 5.1 og 5.2 er resultatene gjengitt for løsning med og uten energilagring.



FIGUR 5.1: LØNNSOMHETSANALYSE MED ENERGILAGRING



FIGUR 5.2: LØNNSOMHETSANALYSE UTEN ENERGILAGRING

Videre kan og betydningen av den nominelle renten undersøkes. Som eksempel er det sett på nominell rente på 0%, 2% som er lik inflasjonen og 5%. Investeringskostnaden settes til 3 millioner som er den største investeringskostnaden som gir positiv nåverdi for begge løsningene. Resultatene vises i kr, rundet opp til nærmeste hundrer i tabell 5.1.

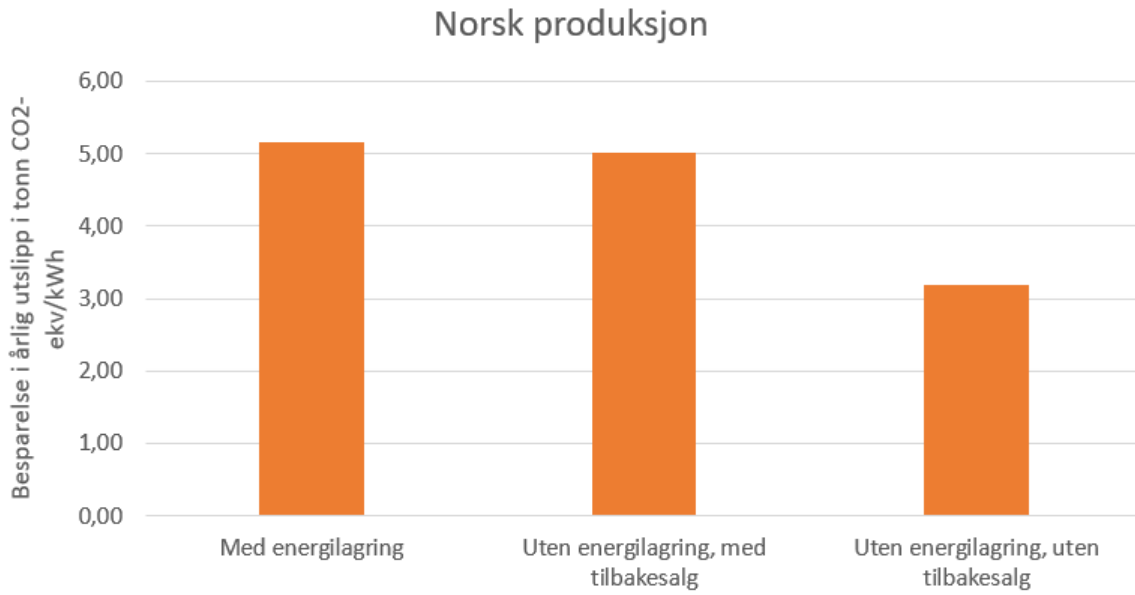
TABELL 5.1:

BESPARELSE MED FORSKJELLIGE VERDIER FOR NOMINELL RENTE, 3 000 000KR INVESTERING

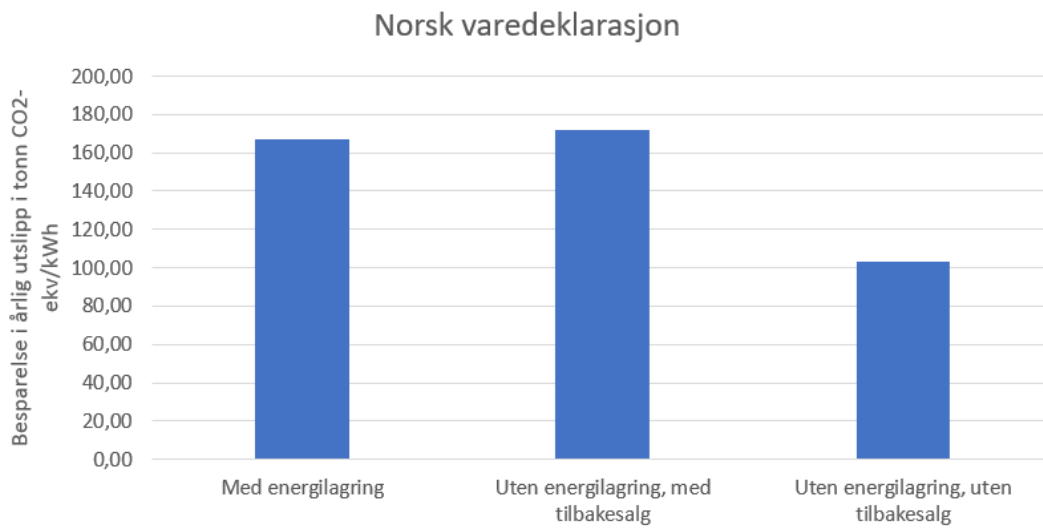
Nominell rente	Besparelse	
	Med energilagring	Uten energilagring
1	2 707 300	603 900
0	3 545 300	1 133 100
2	2 008 500	1 162 700
5	1 511 500	-782 600

5.2 Besparelse CO₂

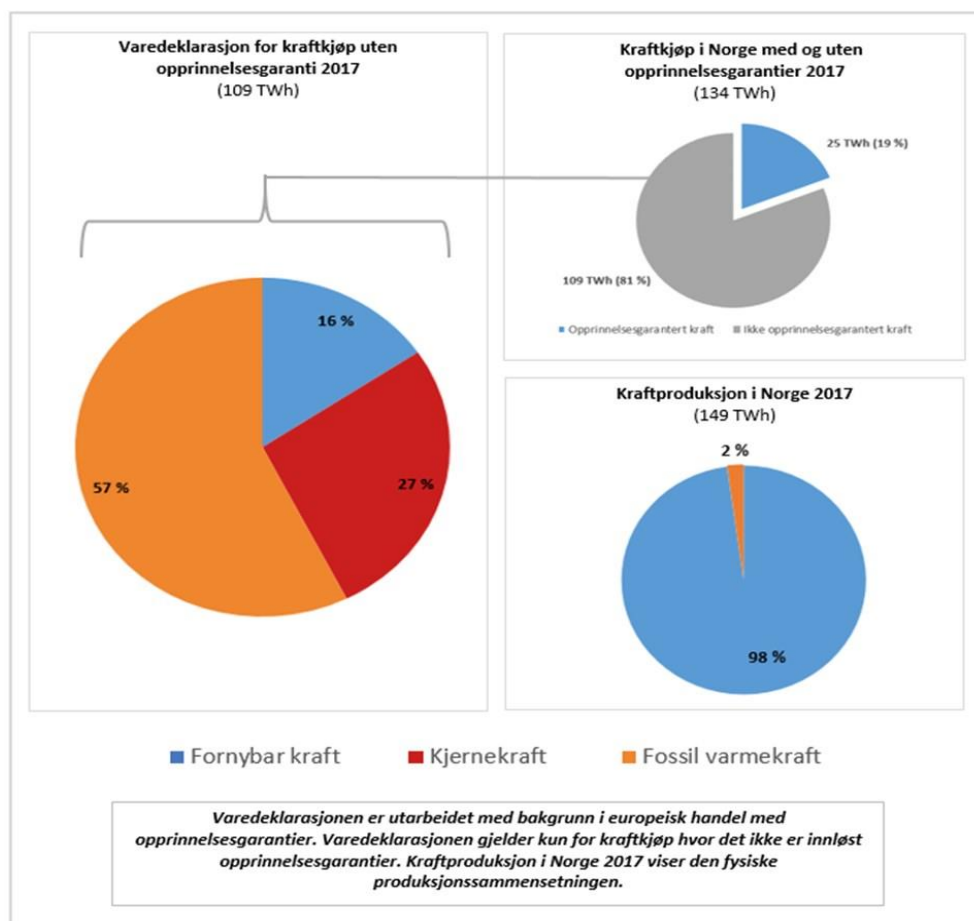
Ifølge NVE viste varedeklarasjonen fra 2017 at Norge omgjorde 98% fornybar energi og 2% fossil energi. Derimot er andelen fornybar energi i varedeklarasjonen for kjøp uten opprinnelsesgaranti på 16%, mens den fossile andelen er på 57%, se figur 5.5. Ved hjelp av disse tallene kan det beregnes utslippet fra kraftproduksjonen, som på den ene siden blir 16 g CO₂-ekv/kWh for Norges produksjon, mens det på den andre siden blir 531 g CO₂-ekv/kWh med hensyn på den nasjonale varedeklarasjonen. CO₂ ekvivalenter er en sammenlignbar betegnelse for utslipp av alle typer klimagasser, og brukes for å beregne det samlede bidraget fra disse i g CO₂. Dermed kan man se på de forskjellige situasjonene med og uten energilagring, for å se hvor store kutt i CO₂-utslipp disse vil føre til, se figur 5.3 og 5.4. Dersom man har tall på utslippet som resultat av produksjonen, byggingen og vedlikeholdet av pergolaen, kan man regne ut hvor mange år det vil ta før dette utslippet er spart inn.



FIGUR 5.3: BESPARELSE I ÅRLIG UTSLIPP MED NORSK PRODUKSJON



FIGUR 5.4: BESPARELSE I ÅRLIG UTSLIPP MED NORSK VAREDEKLARASJON

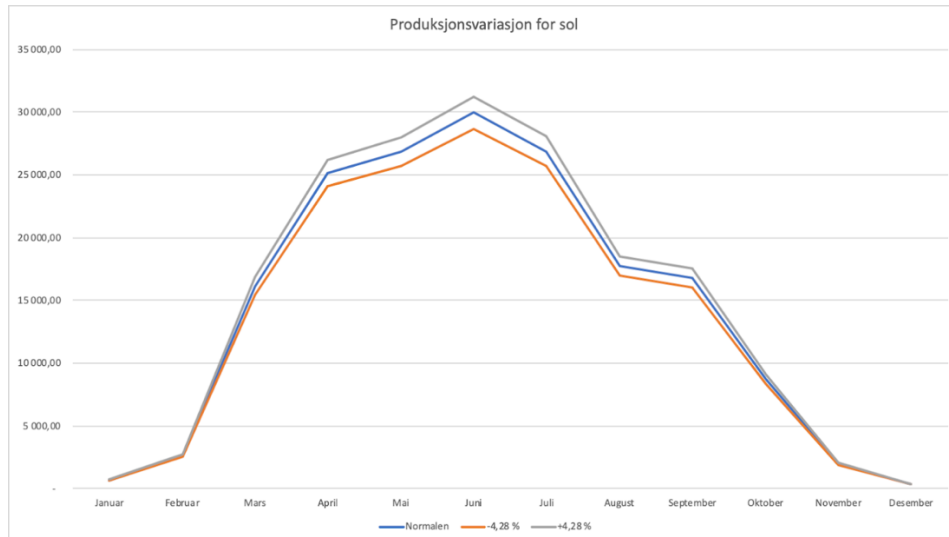


FIGUR 5.5: OVERSIKT OVER PRODUKSJON I NORGE OG VAREDEKLARASJON 2017

5.3 Variasjon i vær

5.3.1 Sol

For å ta hensyn til variasjonene i solinnstråling tas det utgangspunkt i en artikkel av M.S. Adaramola som tok for seg hvordan solinnstrålingen i W/m^2 endret seg fra år til år sørøst i Norge. Undersøkelsene viste en årlig variasjon i solinnstrålingen i perioden 2006 til 2015 på $\pm 4,28\%$ (Adaramola, M.S. 2016), og grafen i figur 5.6 under viser denne variasjonen i korrelasjon med produksjonen for normalen, som er de resultatene SIMIEN ga.

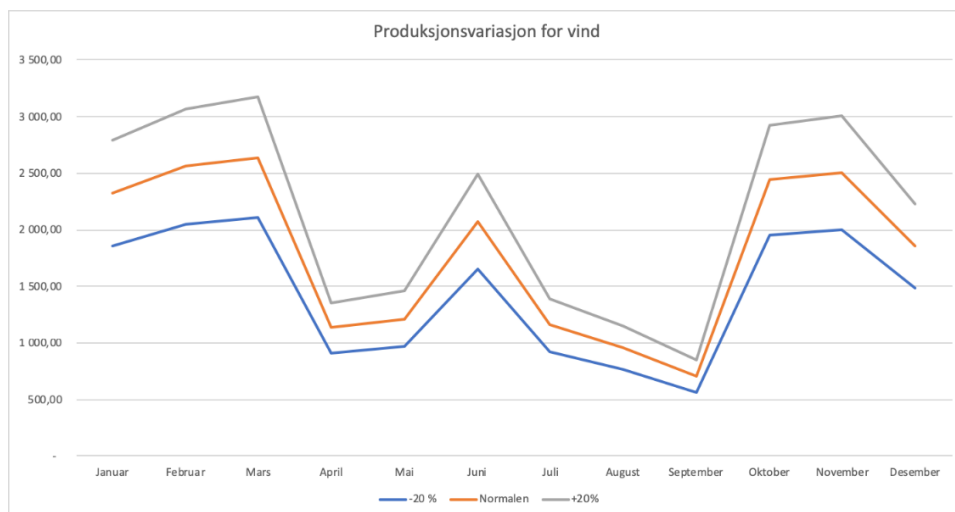


FIGUR 5.6: VARIASJONEN I PRODUKSJON FRA SOLCELLER

Som grafen tydelig viser er variasjonene man kan regne med for sørøst Norge ikke noe særlig store. En nedgang på -4,28% vil resultere i en årlig produksjon på 166 372 kWh, og en oppgang vil gi 181 250 kWh. Disse variasjonene er såpass lite signifikante at de trolig ikke vil skape noen hindringer i å dekke det totale årlige forbruket.

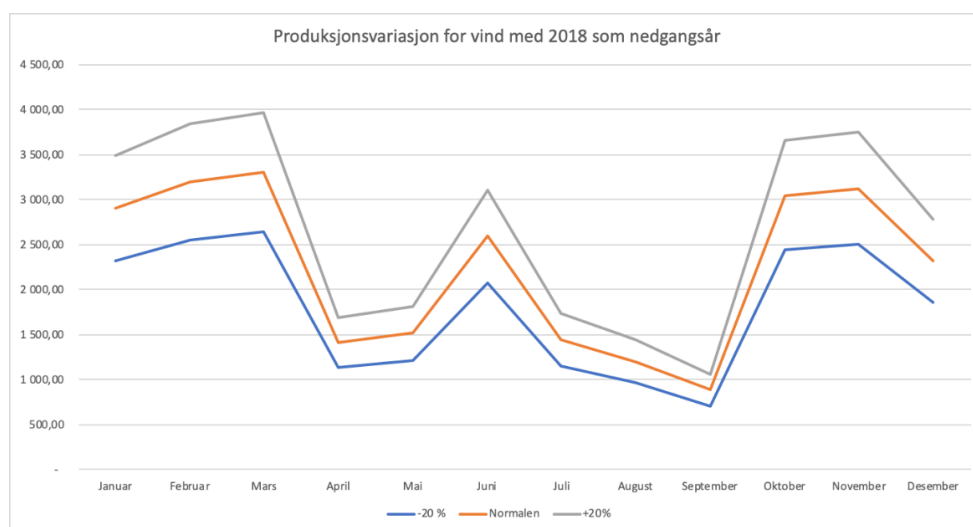
5.3.2 Vind

En rapport av J.O. Tande om integrering av vind i Norge forteller at en variasjon i produksjonen på $\pm 20\%$ er å forvente fra et år til et annet (Tande, 2006). Grafen i figur 5.7 viser disse variasjonene i forhold til normalen, som her er satt som produksjonen med vinddata brukt i denne oppgaven.



FIGUR 5.7: ILLUSTRASJON FOR FORVENTET VARIASJON I PRODUKSJONEN FRA VINDTURBINER, 2018 SOM NORMALÅR

I realiteten er det en mulighet for at 2018 ikke kan ansees som normalår. For å undersøke dette nærmere ble det tatt utgangspunkt i tall fra World Weather Online sin nettside. Dette er en nettside hvor man kan hente tall fra diverse globale værsatellitter og kilder som ECMWF, WMO, GTS observasjoner, NCEP GFS og JMA. Ifølge disse kildene er normal gjennomsnittlig vindhastighet i Gjøvik 7,5 km/t, som tilsvarer 2,08 m/s (World Weather Online, 2019). Det årlige gjennomsnittet fra tallene brukt i dette prosjektet er på 1,67 m/s, og man kan derfor anta at den årlige produksjonen på 21 568 kWh er fra et nedgangår. Videre vil det bety at man i et normalår vil kunne forvente en produksjon på 26 959 kWh, og 32 351 kWh i et spesielt bra år, vist i figur 5.8.



FIGUR 5.8: ILLUSTRASJON FOR FORVENTET VARIASJON I PRODUKSJONEN FRA VINDTURBINER, 2018 SOM NEDGANGSÅR

6. Diskusjon

6.1 Endelig løsning

Ved første øyekast er det tilsynelatende 40° helning som er den mest attraktive løsningen. På den ene siden vil denne helningen føre til størst areal på pergolaen, og dermed størst produksjon. På den andre siden er det et sentralt problem at det vil resultere i en svært høy konstruksjon på litt over 20 meter, som sett i forhold til byggets høyde vil være lite estetisk. I tillegg medfølger denne helningsgraden overflødig produksjon av strøm i forhold til forbruket, og det ville i dette tilfellet vært nødvendig å undersøke om den ekstra investeringskostnaden forbundet til denne vil lønne seg. Et argument for en løsning med 20° helning på pergolaen er at den vil ha lavest investeringskostnad og være mer estetisk, men som et motargument vil den ha liten margin for produksjonen. Dette er et problem ettersom forbruket vil variere fra et år til et annet, og en margin på 1000 kWh er for snevert til å kunne si med sikkerhet at denne konstruksjonen alltid vil dekke behovet. I tillegg, som det kom fram i del 5.3, vil variasjoner i vær også spille inn og gi uforutsigbare produksjonstall, noe man bør ta høyde for. Løsningen med 30° helning og 400m² med paneler i fasadene er mer estetisk enn førstnevnte, men vil ha større leveringssikkerhet enn sistnevnte, og er derfor løsningen som ble sett på i analysedelen.

Som det ble nevnt i resultatene vil det kun være mulig å dekke oppvarmingsbehovet som nå er på 60 282 kWh med den egenproduserte strømmen, og det er derfor bestemt å gå for halv konvertering til fjernvarme. Et argument for denne avgjørelsen er at Sørbyen studenthjem er et gammelt bygg uten et innlagt vannbårent system for oppvarming. Dette betyr at hel konvertering vil være en omfattende jobb ettersom det krever at det legges et relativt stort rørnett innad i bygget. Videre vil dette føre til at en blir nødt til å gjøre inngrep i byggets konstruksjon, for at nettet skal ha optimal infrastruktur. Det vil også kreve en del komponenter til systemet som ellers ikke ville vært nødvendig ved halv konvertering. På en annen side ville en løsning med hel konvertering hatt en større leveringssikkerhet, ettersom tilgjengeligheten på fjernvarme ikke varierer i like stor grad som vind- og solenergi.

6.2 Besparelse i kroner

Hvorvidt prosjektet er økonomisk gjennomførbart vil avhenge av investeringskostnaden, men som nevnt tidligere er dette svært vanskelig å gjøre noe anslag på. Uansett kommer det fram i resultatene at en løsning med energilagring vil gi størst besparelse. Dette er naturlig ettersom man ikke får full pris for strømmen som selges tilbake til nettet, og må kjøpe strøm til full pris for å dekke behovet. Deretter må det undersøkes om de ekstra besparelsene er nok til å dekke kostnadene for kjøp og drift av teknologien for energilagring, noe som ikke er medregnet i oppgaven. I beregningene som er gjort er det heller ikke tatt med noen form for støtte, selv om det i Norge er vanlig å motta dette fra Enova for prosjekter av samme type som oppgaven omhandler. Det er rimelig å anta at om prosjektet blir iverksatt vil det motta støtte ettersom det er en innovativ løsning som kan føre til reduksjoner i det totale utslippet i Norge. Videre kommer det tydelig fram i undersøkelsene med forskjellige nominelle renter at det vil ha stor betydning for lønnsomheten. En nominell rente på 0%, som vil si at det ikke er krav til avkastning, gir størst besparelse. Naturligvis gir 5%, som vil være et strengere avkastningskrav, mindre besparelse, hvor det i løsningen uten energilagring ikke vil være lønnsomt. De økonomiske besparelsene må også sees i sammenheng med besparelsene i CO₂ og de miljømessige fordelene ved konverteringen. Dette er fordeler som er vanskelige å sette tall på ettersom man ikke blir holdt direkte ansvarlig for utslipp man forårsaker. Allikevel vil det være lettere å argumentere for løsningen hvis man kan vise til kutt i utslipp, og betydelige miljømessige fordeler.

6.3 Besparelse CO₂

Det er mye diskusjoner rundt hvordan man skal beregne utslippsfaktorene, og hvilke som er riktige å bruke. Som man kan se av resultatene utgjør det en stor forskjell hvorvidt man antar at Norge er selvforsynt eller ikke. Ved bruk av den norske produksjonsmiksen er den største besparelsen på rett over 5 tonn CO₂ ekv/kWh, mens reduksjonen uten energilagring er på 3,19 tonn. Det er realistisk å anta at utslippene forbundet med kraftpergolaen, beregnet ved bruk av livsløpsanalyse, vil være såpass store at en reduksjon på 5 tonn per år ikke vil være tilstrekkelig til å rettferdiggjøre byggingen. Hvis man ser på den nasjonale varedeklarasjonen vil besparelsene være på tilnærmet 170 og 100 tonn CO₂ ekv/kWh, for løsningen med og uten

energilagring. Med disse resultatene vil det være mer realistisk at det vil gi positivt miljøregnskap gjennom levetiden til anlegget. På den andre siden bør det tas i betraktning at konstruksjonens levetid vil være lengre enn den antatte økonomiske levetiden for solcellene og vindturbinene. Dermed er det mulig å kun installere nye solceller og vindturbiner etter behov, et prosjekt som vil ha et betraktelig lavere utslipp, og slik spare inn det totale utslippet over en lengre tidsperiode. Videre bør det og diskuteres hvorvidt man skal ta med strømmen som selges tilbake til nettet, i beregningene av CO₂-reduksjon. Et argument for at dette bør tas med er at det kan føre til reduksjon i importen og dermed lavere utslippsfaktor for den nasjonale varedeklarasjonen. Hvis man tar med salg tilbake til nettet blir besparelsene tilnærmet like store som med energilagring, men det vil uansett være utslipp som direkte kan knyttes til bygget ettersom det er nødvendig å forsynes fra nettet.

6.4 Energilagring

Som nevnt tidligere vil produksjonen av strøm fra sol og vind variere, noe som gjelder både innad et og mellom to år. Som det kommer fram av resultatene vil løsningen ikke være sensitiv til endringer i potensialet fra et år til et annet, men likevel klare å tilfredsstille behovet. På grunn av variasjonene i løpet av et år og på dagsbasis vil, i tillegg til å jevne ut produksjonen på timenivå, et eventuelt batteri også måtte lagre energien produsert ved sommertider til vinteren. Deretter må behovet som inntreffer når hverken vind eller solenergi er tilstrekkelig dekket av kjøpt strøm fra nettet. Hvis det hadde vært implementert et system med batterier, ville det som man kan se i resultatene ført til større besparelser økonomisk sett. Det ville også vært positivt med tanke på CO₂ reduksjonen ettersom det ikke ville vært nødvendig å kjøpe elektrisitet fra nettet. Derimot ville det vært nødvendig med et stort antall batterier for å dekke hele byggets kapasitet. Selv om dette er mulig er det et sentralt problem at kvaliteten på den lagrede energien i batteriene minker med tiden, og etterhvert som batterier lades og utlades minker også kapasiteten på systemet selv. Det finnes også andre alternativer for lagring av energi og noen eksempler er lagring i vannmagasiner, varmtvannstanker eller i form av hydrogen. Å lagre energien i vannmagasiner eller som hydrogen vil gjøre det mulig å lagre energien mellom sesonger, men det bør nevnes at det vil være innviklet og trenge mye logistikk og planlegging. En annen måte er å bruke den overflødig energien til å forsyne varmtvannsberederne, og dermed gjøre om den elektriske energien til termisk energi. Dette er

et alternativ som ville fungert på dagsbasis uten å føre til like store kostnader som et system av batterier, men ville ikke løst problemet på en årlig basis. Selv om dette er ingen optimal løsning, er det fortsatt en fordelaktig innretning sett i forhold til å være foruten.

7. Prosjektet i realiteten

I en realistisk situasjon ville det krevd mye mer omfattende undersøkelser på flere aspekter hvor det i denne oppgaven ikke er tilstrekkelig. Grunnen til at undersøkelsene i oppgaven til tider ikke er grundig nok kommer som et resultat av mangel på data, samt ressursmessige og tidsmessige begrensninger.

7.1 Simuleringen

Simuleringen av bygget og omgjøringen til passivhus ble gjort som et enkelt forprosjekt, og det ble derfor ikke vektlagt. Det ble kun gjort for å oppnå et lavere energibehov, slik at det ble lagt bedre til rette for at behovet skulle kunne dekkes av fornybar energi. Det ble gjort flere forenklinger, eksempelvis er det kun gjort beregninger for de bosatte etasjene mens kjeller, første og tiende etasje har blitt utelukket. Videre er det flere funksjoner i SIMIEN som ikke ble brukt, blant annet et verktøy som gjør det mulig å ta hensyn til vegger og gulv mellom henholdsvis rom og etasjer.

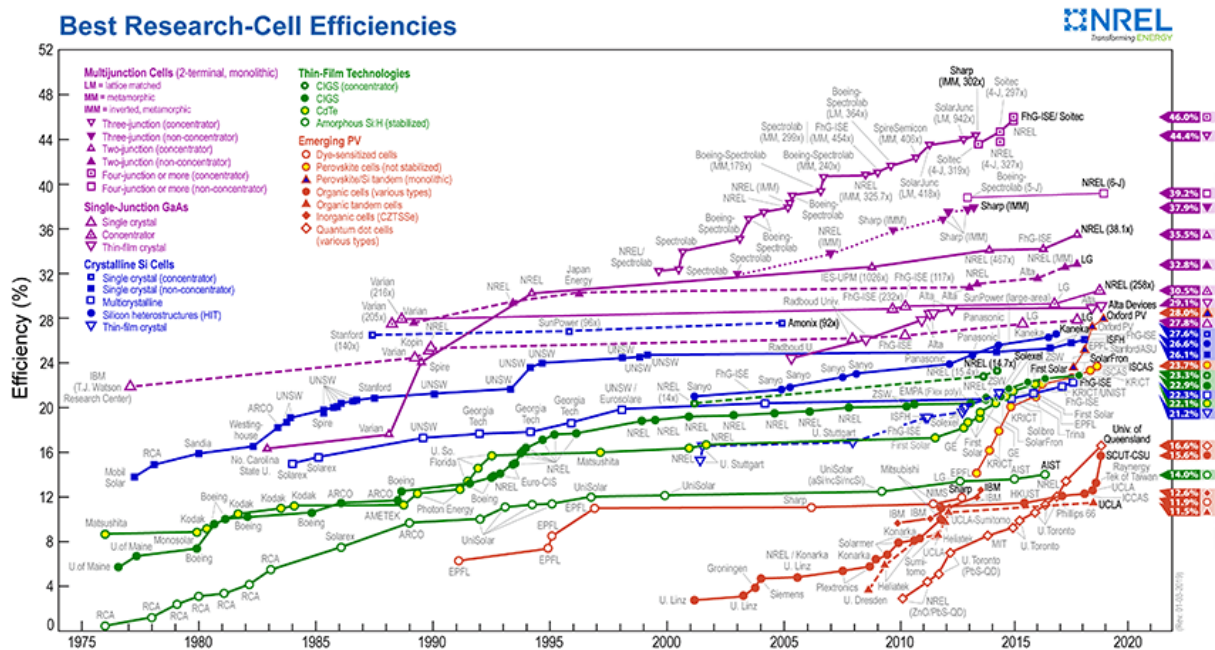
For en mer realistisk utredning måtte det vært gjort nøyaktige målinger av alle byggets dimensjoner og aspekter. Videre ville det og vært nødvendig å undersøke aktiviteten i bygget for å vite hvor mye studentene er hjemme. Dette vil ha innvirkning på hvor mange timer lyset er på, tekniske apparater blir brukt og hvor mye oppvarming som er nødvendig. Noe som og burde tas med i en grundigere undersøkelse er variasjonen fra beboer til beboer, ettersom studentboliger inneholder personer med svært ulike vaner og døgnrytmer. Det fører til at det totale forbruket er jevnere enn forbruket til en vanlig nordmann ville vært, men også til uventede effekttopper som er vanskelige å dimensjonere for.

7.2 Potensialet

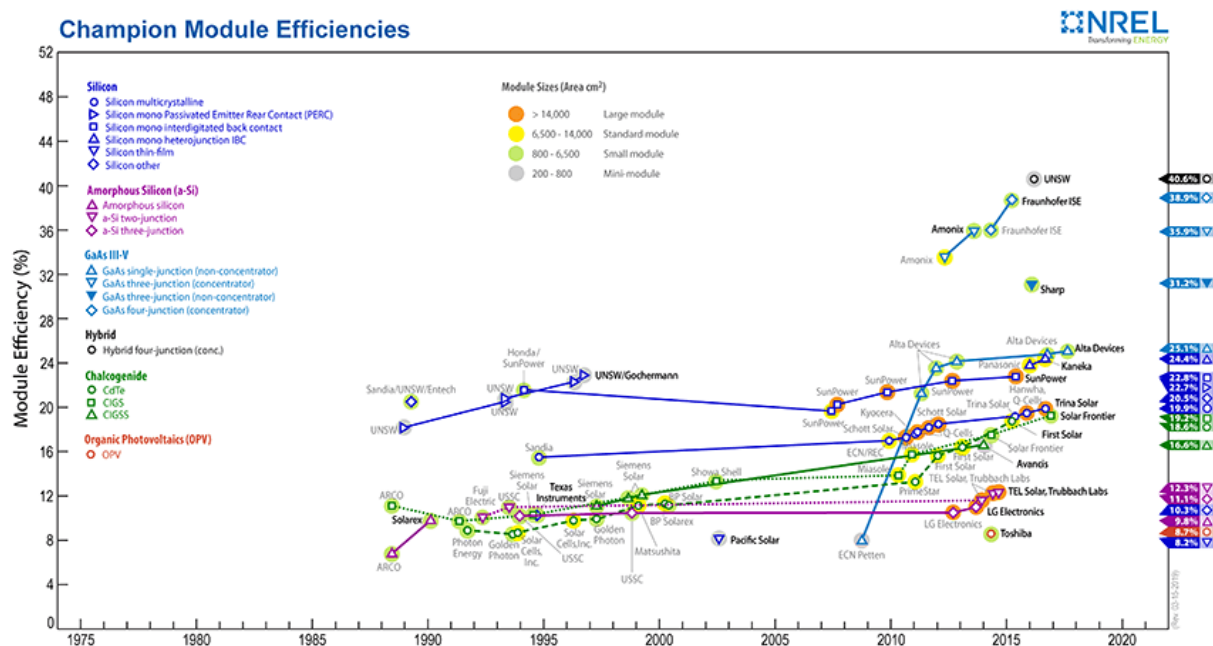
Det er også begrensninger når det kommer til potensialet for fornybar energi ved bygget, som igjen gjør beregningene for produksjonen av elektrisitet usikre. SIMIEN har tilgang på meteorologisk data, men hvor oppdatert denne er og hvilken målestasjon som er brukt er ikke

kjent. For beregningen av vind ble 2018 brukt som et referanseår for Gjøvik, og det ble antatt konstant vindhastighet og retning for hele dagen. I virkeligheten vil vindhastigheten, og retning endres flyktigere. For å få en mer presis oversikt over potensialet ved bygget må det gjøres målinger på taket for både solinnstråling og vind.

Et viktig element å ta for seg ved prosjekter som dette, er å tenke fremtidsrettet og hvilke utviklinger man kan forvente å imøtekomme de neste årene. Solcelleteknologi er godt i vinden og utviklingen eskalerer for hvert år som går. National Renewable Energy Laboratory, som blant annet driver med forskning og testing av nye solcelleteknologier, har en oversikt som jevnlig oppdateres etterhvert som virkningsgraden på solceller forbedres. Oversikten er gjengitt i figur 7.1 og 7.2, og tar for seg henholdsvis solceller og moduler. Av disse kan man se at monokrystallinske celler med teknologi i toppklassen kan oppnå en virkningsgrad på 27,6%. Gitt den raske utviklingen av solceller de siste årene, som vist i diagrammene under, kan man med godt grunnlag anta at virkningsgraden for solceller vil fortsette å øke i tiden fremover (NREL, 2019). Det at virkningsgraden på solcellene forbedres vil gjøre at potensialet som er i et området kan utnyttes bedre, og vil gjøre solceller mer relevant på steder hvor energien fra solen er begrenset.



FIGUR 7.1: DIAGRAM OVER UTVIKLING TIL SOLCELLER PÅ FORSKNINGSNIVÅ



FIGUR 7.2: DIAGRAM OVER UTVIKLING TIL MODULER PÅ FORSKNINGSNIVÅ

7.3 Alternativ løsning

En alternativ løsning, som er mer realistisk, ville vært å ikke bygge pergolaen presentert i den foreslåtte løsningen, og eventuelt ha solpanelene rett på taket. Uten pergolaen og den resulterende dyseeffekten vil ikke vindturbiner være aktuelt, ettersom vindforholdene brukt i oppgaven ikke er tilstrekkelig for produksjon. Det ville antageligvis vært lønnsomt å gjennomføre renoveringen, ettersom reduksjon i energibehovet var såpass stort. Videre ville det vært fordelaktig å utføre halv konvertering, og dermed sikre at en stor del av energibehovet ble dekket av fornybare kilder. Når det angår paneler i fasaden på bygninger er dette en teknologi i sterk vekst, og det vil være rimelig å anta at det med tiden vil bli lønnsomt. En slik enklere løsning vil ha en lavere investeringskostnad, og vil med større sikkerhet være økonomisk gjennomførbar.

Det kunne også ved en alternativ løsning blitt vurdert å erstatte deler av solcellepanelene med solfangere. På denne måten vil en kunne dekke deler av oppvarmingsbehovet for tappevannet og dermed belage seg mindre på tilførsel fra fjernvarme. Likevel vil det dukke opp et sentralt problem, nemlig hvor strømmen som solcellene tidligere bidro med skal komme fra. Den mest åpenbare løsningen vil da være at denne strømmen vil komme fra nettet, men dette vil videre føre til et større bidrag av utslipp. Det å dekke deler av tappevannet med solfangere vil ikke

utgjøre noen forskjell i et miljøperspektiv, siden energien fra fjernvarmen ansees som fornybar. Dette vil resultere til et mindre gunstig scenario i henhold til å nå målet om å senke utslippene forbundet til bygget ettersom mulighetene for å dekke hele strømbehovet med fornybar energi elimineres.

7.4 Sikkerhet og etikk

Ved en eventuell realisering av prosjektet er det flere spørsmål angående sikkerhet og etikk som det ikke er lagt noen stor vekt på, ettersom det i denne oppgaven hovedsakelig blir sett på energidelen av prosjektet. For begge aspektene er det viktig å se på hele livsløpet, for eksempel må det forsikres at produksjonen av solcellene skjer på en etisk god måte og at sikkerheten ved byggingen av konstruksjonen er tilstrekkelig. Videre vil et resultat av kraftpergolaen etter den er ferdigstilt være at den vil gi mye skygge for omgivelsene og eventuelle nabobygg og hus. Solinnstråling er en viktig faktor for mange huseiere, og det kan by på problemer om konstruksjonen på taket til boligblokken skygger for en eller flere tomter. I tillegg bør dyreliv også tas hensyn til. Fugler kan bli fanget i vindtunnelen når vinden blir for sterk, og dermed fly inn i vindturbinene. Dette er ikke bare skadelig, om ikke dødelig for fuglene, men vil også føre til signifikante vedlikeholdskostnader på vindturbinene gitt deres små og ømfintlige design og konstruksjon. Videre gjør beliggenheten på Gjøvik at byen rammes av mye snø hver vinter. For å ha en stabil og sikker konstruksjon må pergolaen bygges for å tåle tyngden denne snøen vil medbringe for å forhindre at hele konstruksjonen faller sammen. Det bør også tas med i betraktning at snøen samlet opp på pergolaen vil gli av og rase ned på fellesterrassen til bygget. Dette området bør derfor stenges av for beboerne i vintersesongen.

8. Konklusjon

Hovedmålet med prosjektet var å dekke hele energibehovet til Sørbyen studenthjem med utelukkende fornybar energi. For at målet skulle være oppnåelig ble det som et forprosjekt undersøkt hva som må til for at bygget skal tilfredsstillere kravene til passivhus, satt i NS3700. Dette ble gjort for å få ned energibehovet, og da hovedsakelig behovet for romoppvarming. Delmålet ble nådd med hjelp av en tenkt renovering hvor det ble etterisolert, vinduene og balkongdørene ble skiftet ut og ventilasjonsanlegget ble oppgradert til et balansert system. Forprosjektet resulterte i en sterk nedgang i energibehov, og det resulterende behovet som ble estimert var 315 126 kWh. Av dette var 60 282 kWh behovet for romoppvarming, 126 426 kWh var nødvendig til varmtvann og resterende 119 879 kWh gikk til generelt elektrisitetsbehov og tap.

Videre ble det gjort undersøkelser på en idé, som anses som både innovativ og kreativ, og gikk ut på å plassere en pergola utstyrt med solcellepaneler på toppen av bygningen i tillegg til at det ble implementert paneler i to av fasadene. Som en konsekvens av pergolaens utforming dannes det en vindtunnel hvor det vil oppstå en dyseeffekt, som blir utnyttet av vindturbiner på enden av bygget. Det ble gjort beregninger på strømproduksjonen, hvor forskjellige parametere ble variert for å se hvilken kombinasjon som kunne dekke behovet, men samtidig ikke var estetisk sjenerende. Av resultatdelen ble det konkludert med at en løsning hvor pergolaen står vendt i byggets retning (sør-sørøst), med 30° helning på konstruksjonen og solcellene, i kombinasjon med 400 m² med solceller i fasadene, og halv konvertering til fjernvarme er den optimale løsningen med de betingelsene som er satt i oppgaven. Videre antas det at batteriteknologien i dag ikke er tilstrekkelig utviklet for implementering i prosjekter av lik type som i oppgaven. I mangel på andre realistiske løsninger er det derfor ikke mulig for studenthjemmet å være selvforsynte på strøm, og ettersom strøm fra nettet er definert som ikke fornybart i oppgaven kan ikke bygget forsynes med utelukkende fornybar energi. Svaret på problemstillingen er da at det er teoretisk mulig at studenthjemmet kan dekkes av fornybar energi med den tenkte renoveringen og den valgte løsningen, men at det ikke vil være praktisk mulig enda på grunn av begrensningene forbundet med lagring av energi.

Til slutt bør det også tas i betraktning at ideen kan anvendes på flere områder, hvis videre forskning viser at det er lønnsomt. For eksempel kan den stå som en egen konstruksjon hvor forholdene tillater dette, eksempelvis i fjellsider eller ved kysten der potensialet for vind er større. Et annet forslag er å plassere pergolaen på havet hvor den ikke vil være forstyrrende for naboer, og heller ikke påvirkes av skygger fra nærliggende konstruksjoner. Videre kan man da også utstyre konstruksjonen med en motor, så den kan roteres mot vinden for optimal produksjon. For å realisere dette vil det være nødvendig med mer forskning fra en tverrfaglig gruppe med bredere kompetanse. Likevel har løsningen bearbeidet i denne oppgaven stort potensiale for fremtidige måter å utvinne fornybar energi på. Ulike områder krever ulike løsninger, og legger til rette for at mange nye måter å utvinne energien på er nødvendig. I den forbindelse er Kraftpergola en av mange løsninger som kan ha en sentral rolle for en fornybar fremtid.

Referanser

Adaramola, M.S. (2016) Distribution and temporal variability of the solar resource at a site in south-east Norway, *Frontiers in Energy*, 10 (4) 375–381. <https://doi.org/10.1007/s11708-016-0426-6>

Burton, T. et al. (2011) *Wind Energy Handbook*. (2. utgave). West Sussex, Storbritannia: John Wiley & Sons, Ltd.

Byggforsk (2003) *471.010 Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer*
[471.010 Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer](#)
[...https://www.byggforsk.no/.../varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsm...](https://www.byggforsk.no/.../varmekonduktivitet_og_varmemotstand_for_bygningsm...)
(Hentet 26. januar 2019)

Dokka T.H., Hauge G, Thyholt M, Klinski M og Kirkhus A (2009), *Energieffektivisering i bygninger – mye miljø for pengene!* (Prosjektrapport 40), Trondheim: SINTEF byggforsk. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/globalassets/upload/sb-prrapp-40.pdf> (Hentet: 14. januar 2019)

Eidsiva, (2019) *Teknisk datablad SG50KTL-M-20* Tilgjengelig fra <https://www.eidsivaenergi.no/lev-energismart/solenergi/solcellepanel/solcelle-dokumenter/> (Hentet 28. mars 2019)

Fadil, J., Soedibyog og Ashari, M. (2017) Performance Comparison of Vertical Axis and Horizontal Axis Wind Turbines To Get Optimum Power Output, *International Conference on Quality in Research*, 15, 429-433.
[10.1109/QIR.2017.8168524](https://doi.org/10.1109/QIR.2017.8168524)

Gebremedhin, A. 2018. Distribusjonssystem. *Elektriske energisystem og fjernvarme*. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com> (Hentet: 28. november 2018)

Mason, G. og Kayzuka, I. (2018) *Trends in photovoltaic application*. (IEA PVPS Trends nr. 23). Sveits: IEA. Tilgjengelig fra: <http://www.iea-pvps.org/index.php?id=trends> (Hentet: 08. mars 2019)

Manual, J., McGowan, J. og Rogers, A. (2009) *Wind energy explained: Theory, design and application*. 2nd ed. Great Britain: John Wiley and Sons ltd.

Kommunaldepartementet (1987) *Byggforskrift 1987*. Tilgjengelig fra:

https://www.regjeringen.no/contentassets/9dcd44af30c744ea999f0d122fdc1c3c/byggeforskrift_270587_alt_2.pdf (Hentet: 7. mars)

Lavenergiprogrammet (2018) *Ventilasjon i boliger*. Tilgjengelig fra:

<https://bygg.tekna.no/lavenergiprog/ventilasjon-i-boliger/> (Hentet 31. januar 2019)

Mohamed, M.H. (2012). Performance investigation of H-rotor Darrieus turbine with new airfoil shapes, *Energy*, 47(1), 522-530. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.08.044>

National Renewable Energy Laboratory (2019) *Best Research-Cell Efficiency Chart*.

Tilgjengelig fra:

<https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html> (Hentet: 28. mars 2019)

Norsk fjernvarme (2018) *Fjernkontrollen, energikilder i Gjøvik 2018*. Tilgjengelig fra:

<https://www.fjernkontrollen.no/gjovik/> (Hentet: 08. mars 2019)

Nybakk, K., et al. (2015) *Kostnader i energisektoren: Kraft, varme og effektivisering*.

(Kostnader i energisektoren 2). Oslo: NVE. Tilgjengelig fra:

http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_02a.pdf (Hentet: 26. mars 2019)

Plessner, T. (2017) *Obtainment of health and environmental data - Evaluation report*.

(102000663-21). Trondheim: SINTEF. Tilgjengelig fra: http://lapollascandinavia.com/wp-content/uploads/2017/01/20114_Obtainment-of-health-and-environmental-data-Evaluation-report-004.pdf (Hentet: 29. januar 2019)

Ragheb, M. (2015) *Vertical Axis Wind Turbines*. Tilgjengelig fra:

<http://mragheb.com/NPRE%20475%20Wind%20Power%20Systems/Vertical%20Axis%20Wind%20Turbines.pdf> (Hentet: 4. mars)

Scandicfoam (2019) *Teknisk datablad: FL 2000 4G*. Tilgjengelig fra:

<http://scandicfoam.no/> (Hentet: 29. januar 2019)

Semtive (2019) *Teknisk datablad: Nemoi M*. Tilgjengelig fra:

<https://semtive.com/> (Hentet: 11. mars 2019)

Standard Norge (2013) *NS3700 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Boligbygninger*. Tilgjengelig fra:

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=636902> (Hentet: 14. januar 2019)

Standard Norge (2016) *NS/TS3031 Bygningers energiytelse - Beregning av energibehov og energiforsyning*. Tilgjengelig fra:

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=859500> (Hentet: 14. januar 2019)

SunPower (2018) *SunPower Residential DC Panel*. Tilgjengelig fra:

<https://us.sunpower.com/sites/default/files/sp-x22-370-ds-en-ltr-mc4comp-527787.pdf?fbclid=IwAR2sqS8jfUt2rmDUewl-34alQ0xjbJzDuP2dwONweNyqwZIOdFUjJk64X0I> (Hentet: 21. mars 2019)

Tande, J.O. (2006) *Impact of integrating wind power in the Norwegian power system*. (12X423.01). Trondheim, Norge: SINTEF. Tilgjengelig fra:

<https://www.sintef.no/globalassets/upload/energi/pdf/vind/tr-a6337.pdf?fbclid=IwAR3nxUvqK-xxFfoz6Vtpt6R3KA2TzW9YIOqMWSsoiSTcZ7MaofH9vUz5KI8> (Hentet: 25. mars 2019)

World Weather Online (2019) *Gjovik Monthly Climate Averages*. Tilgjengelig fra:

<https://www.worldweatheronline.com/gjovik-weather-averages/oppland/no.aspx> (Hentet: 2. april 2019)

