

Muligheter for energieffektivisering og konvertering til fornybare energikilder på en gård

Thea Mork Kummen

Master i energibruk og energiplanlegging

Innlevert: juni 2018

Hovedveileder: Natasa Nord, EPT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for energi- og prosessteknikk

EPT-M-2018- M-2018-51

MASTEROPPGAVE

for

Student Thea Mork Kummen

Våren 2018

Muligheter for energieffektivisering og konvertering til fornybare energikilder på en gård

*Possibilities for energy efficiency improvement and transition to renewable energy sources at a farm***Bakgrunn og målsetting**

Framtidens energikrav til bygninger kommer til å bli strengere både når det gjelder energieffektivisering og krav til fornybare energikilder. For en gammel, norsk, gård kan det være vanskelig å få implementert alle teknologier. Studenten skal definere mulige og relevante energieffektiviseringstiltak og relevante energiforsyningsteknologier. Studenten kan se på markedsmuligheter og statensinsentiver for energieffektivisering og konvertering til fornybar energi i Norge. Enova sin database kan benyttes som et utgangspunkt. Simuleringsprogrammet IDA-ICE skal benyttes i oppgaven. Studenten har kartlagt nåværende energitilstand til en gammel, typisk norsk gård i en prosjektoppgave, og skal benytte denne informasjonen videre i masteroppgaven. På basis av relevante og framtidens teknologier, skal studenten definere ulike scenarioer for oppgradering relatert til energieffektivisering og energiforsyning. Ved å definere ulike scenarioer, skal studenten ta med i betraktning at ulike tiltak kan skje samtidig eller suksessivt. Et antall utvalgte scenarioer skal simuleres i simuleringsprogrammet. Simulerte varme- og elektrisitetstidsprofiler skal analyseres nøye og sammenlignes med reell energibruk for relevante scenarioer implementeres. Elektrisitetsprofiler skal analyseres med hensyn til påvirkning av elektrisk nett. En mulighetsanalyse om en nullutslippsgård skal også gjennomføres. Total energibruk og mulig produksjon fra fornybare energikilder skal benyttes som input til en analyse om nullutslippsgård. Både årlige og timesprofiler skal benyttes i analysen. Alle resultatene skal til slutt oppsummeres og analyseres. Oppgaven er knyttet til forskningsprosjektet ExPOSE, som omhandler energiplanlegging av bygninger.

Målet med oppgaven er å analysere ulike energieffektiviseringstiltak og relevante energiforsyningsteknologier for å muliggjøre at en typisk norsk gård kan konverteres til en nullutslippsgård.

Oppgaven bearbejdes ut fra følgende punkter

1. Litteraturstudium av infrastruktur og energibruk på gård i Norge. Litteraturstudium skal også se på relevante energieffektiviseringstiltak og relevante energiforsynings teknologier. Oversikt over markedsmuligheter og statensinsentiver skal også gjøres.
2. Samle og organiserer informasjon om gården.
3. På basis av litteraturstudium definere ulike oppgraderings- og energiforsynings-scenarier for en gård. Scenarier skal ta hensyn til markedsmuligheter og statensinsentiver for energieffektivisering og konvertering til fornybare energi. Scenarier skal også omfatte fornybare energikilder.
4. Modellere den definerte gården i IDA-ICE.
5. Kalibrere simuleringsmodell fra IDA-ICE med målt energibruk og vet hjelp av informasjon om gården.
6. Optimalisere modellen med hensyn til total energibruk eller CO₂-utslipp. Optimalisering kan utføres ved hjelp av optimaliseringsverktøy eller ved å foreslå ulike scenarier.
7. Undersøke muligheter for at gården kan oppnå et nullutslippssambisjonsnivå (ZEB). Hvis relevant, definere et ambisjonsnivå tilpasset gårder.
8. Analysere, organisere og presentere resultater.
9. Utarbeide utkast til en artikkel.

” - ”

Senest 14 dager etter utlevering av oppgaven skal kandidaten levere/sende instituttet en detaljert fremdrift- og eventuelt forsøksplan for oppgaven til evaluering og eventuelt diskusjon med faglig ansvarlig/veiledere. Detaljer ved eventuell utførelse av dataprogrammer skal avtales nærmere i samråd med faglig ansvarlig.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velkrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbejdet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte, og at de er diskutert utførlig.

Alle benyttede kilder, også muntlige opplysninger, skal oppgis på fullstendig måte. For tidsskrifter og bøker oppgis forfatter, tittel, årgang, sidetall og eventuelt figurnummer.

Det forutsettes at kandidaten tar initiativ til og holder nødvendig kontakt med faglærer og veileder(e). Kandidaten skal rette seg etter de reglementer og retningslinjer som gjelder ved alle (andre) fagmiljøer som kandidaten har kontakt med gjennom sin utførelse av oppgaven, samt etter eventuelle pålegg fra Institutt for energi- og prosesseteknikk.

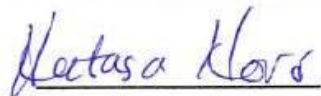
Risikovurdering av kandidatens arbeid skal gjennomføres i henhold til instituttets prosedyrer. Risikovurderingen skal dokumenteres og inngå som del av besvarelsen. Hendelser relatert til kandidatens arbeid med uheldig innvirkning på helse, miljø eller sikkerhet, skal dokumenteres og inngå som en del av besvarelsen. Hvis dokumentasjonen på risikovurderingen utgjør veldig mange sider, leveres den fulle versjonen elektronisk til veileder og et utdrag inkluderes i besvarelsen.

I henhold til ”Utfyllende regler til studieforskriften for teknologistudiet/sivilingeniørstudiet” ved NTNU § 20, forbeholder instituttet seg retten til å benytte alle resultater og data til undervisnings- og forskningsformål, samt til fremtidige publikasjoner.

Besvarelsen leveres digitalt i DAIM. Et faglig sammendrag med oppgavens tittel, kandidatens navn, veileders navn, årstall, institutt navn, og NTNUs logo og navn, leveres til instituttet som en separat pdf-fil. Etter avtale leveres besvarelse og evt. annet materiale til veileder i digitalt format.

- Arbeid i laboratorium (vannkraftlaboratoriet, strømningsmekanisk, varmeteknisk)
- Feltarbeid

NTNU, Institutt for energi- og prosesseteknikk, 15. januar 2018



Natasa Nord
Faglig ansvarlig/veileder

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet på Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), av en student våsemesteret 2018 og er bygd videre på en tilhørende prosjektoppgave skrevet høsten 2017. Oppgaven er en del av det toårige-masterprogrammet energibruk og energiplanlegging, og skrives under instituttet for energi- og prosessteknikk (EPT), under fakultetet for ingeniørvitenskap (IV). Arbeidet utgjør til sammen 30 studiepoeng, under fagkoden TEP4920.

Oppgaven innebærer å se på mulig energieffektivisering av en norsk gård, samt vurdere ulike energiforsyningsteknologier som kan være aktuelle. Det skal benyttes et simuleringsprogram for å kartlegge energibruk i bygg, for å finne potensiale det har.

I etterkant av masteroppgaven ønskes det å rette en takk til veileder Natasa Nord, førsteamanuensis ved EPT, for oppfølging og innspill under arbeidsprosessen. En stor takk rettes også til Tore Rune Kummen og Ivar Kummen for mye nyttig informasjon vedrørende masteroppgaven.

11. juni 2018



Thea Mork Kummen

Sammendrag

Hensikten med denne oppgaven er å finne muligheter en norsk gård har for å oppgraderes til et mer fremtidsrettet og miljøvennlig bygg. Av alle bygg i Norge er det mange som er tilknyttet landbruket, i tillegg er mange av de eldre og dårlig isolerte. En gård består også ofte av flere bygninger. Dette gir et potensiale for å undersøke mulige tiltak som kan være aktuelle å anvende.

Gården Kummen i Skjåk består av et større grise fjøs, bolighus og garasje, bygd på ulike tidspunkt fra 50-tallet til i dag. Det benyttes avtrekksventilasjon med ventiler i fjøset, og naturlig ventilasjon i huset. Et flisfyringsanlegg med tilhørende vannbårent system dekker oppvarmingsbehovet, mens strøm fra nettet dekker det elektriske. For å finne ulike energieffektiviseringstiltak og fornybare energiforsyningssystem blir gården bygget opp som en modell i simuleringsprogrammet IDA-ICE. Tre ulike caser med tiltak simuleres for å redusere energibehov, og for å undersøke muligheten for å bli et nullutslippsbygg (ZEB).

De ulike casene har installerte solcellepanel på takoverflatene, i forskjellige størrelser. Case 1 benytter konvensjonelle tiltak som tetting, utskifting av vinduer og belysning. Sistnevnte tiltak med to ulike typer LED-belysning i hver sin simulering. I Case 2 er det ønskelig å redusere oppvarmingsbehovet, ved hjelp av etterisolering av tak og vegger, tetting og reduksjon av kuldebroer og utskifting av dører og vinduer. Denne modellen har det minste solcelleanlegget. Siste case fokuserer på reduksjon av det elektriske forbruket med LED-belysning og forbedret lysstyring. I tillegg kjøres en ekstra simulering med reduksjon av brukstid for basseng. Det er i Case 3 simulert det største solcelleanlegget.

Resultatene viser at tetting og etterisolering gir liten reduksjon i oppvarmingsbehovet, i tillegg er det av de dyreste tiltakene. Dette er henholdsvis på grunn av lekkasje gjennom ventiler, og det store arealet på fasaden. Det er derfor ikke et aktuelt tiltak å gjennomføre her. Total energibesparelse er størst i Case 3, og deretter Case 1. Nåverdimetoden viste at det ved gitt levetid og renteverdi ikke ville være lønnsomt med tiltakspakkene, med unntak av den siste simuleringen i Case 3.

Det er satt opp fem ulike ambisjonsnivå innen ZEB. Dette innebærer å se på utslipp tilknyttet drift, der ulike prosentandeler av bruken av utstyr er utelatt fra regnskapet. Dersom alt av utstysbruk er utelatt oppnår alle de fem scenarioene målet, med unntak av Case 2. Hovedgrunnen til dette er at tiltakene ikke er tilstrekkelige nok, og at det ikke blir generert nok strøm til å kompensere for utlippene. Den siste simuleringen av Case 3 har muligheten til å oppnå ZEB-O \div 20% EQ, som er det høyeste nivået oppnådd. Det er viktig å legge til grunn at tiltaket på svømmebassenget bare er gjeldende for denne gården, og ikke et tiltak som vanligvis er gjennomførbart.

For å oppnå et nullutslippsnivå er det mest lønnsomt å fokusere på tiltak som reduserer elektrisitetsbehovet. Det er lettere å kompensere for disse utlippene, da det har en høyere andel g CO₂-ekv./kWh enn oppvarmingsforbruket.

Abstract

The purpose of this study is to find possibilities and potential of achieving energy-efficient and environmental-friendly buildings in existing Norwegian farms. A high number of buildings in Norway are affiliated with agriculture, of which many are old and poorly insulated. A farm often consists of several buildings, which provides a potential for examining possible measures that may be applicable.

Kummen farm in Skjåk consists of a barn with pigs, a farmhouse and several smaller buildings, built between the 50's and present. In the livestock departments, there are automatic exhaust fans and valves. A flue heating system with associated waterborne system covers the heating requirement, while the electricity grid covers the electrical needs. In order to find energy efficient measures and renewable energy supply systems, the farm is built as a model in the simulation program IDA-ICE. Three different cases are simulated to reduce energy requirements, and to investigate the possibility of becoming a zero emission building (ZEB).

The different cases have solar panels installed on the roof surfaces, in variable sizes. Case 1 uses conventional measures such as retrofitting insulation, replacement of windows and lighting. In Case 2, it is desirable to reduce the heating requirement by means of retrofitting insulation of ceilings and walls, sealing and reduction of thermal bridges and replacement of doors and windows. This model has the smallest solar system. The last case focuses on reducing the electrical consumption through LED lighting and improved light control. In addition, a simulation with reduction of operating hours for the swimming pool is run. Case 3 has the largest solar system.

The results show that retrofitting provides a minor reduction in heating demand due to leaks through valves. It is also one of the most expensive measures due to large façade area. Measures on the building body are therefore not applicable. Total energy saving is greatest in Case 3, followed by Case 1. The net present value shows that, given the lifetime and interest rate, neither scenario would be profitable, except the last simulation in Case 3.

Five different ambitions within ZEB have been defined. This involves looking into operational related emissions, where different percentages of the use of equipment are excluded from the account. If all equipment is omitted, all five cases will achieve the goal, except Case 2. The main reason for this is that the measures are insufficient as well as lack of electricity generation to compensate for all the emissions. The last simulation of Case 3 has the ability to reach ZEB-O \div 20%EQ, which is the highest level achieved in this study. It is important to note that the measures regarding the swimming pool are only applicable to this specific farm and not a measure that usually is feasible.

In order to achieve a zero emission level, it is most profitable to focus on measures that reduce the need for electricity. These emissions are easier to compensate for, as it has a higher proportion of g CO₂/kWh than the heating consumption.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	II
Abstract	III
Figurliste	VII
Tabelliste	IX
Forkortelser	X
Begrepsliste	X
1 Innledning	1
1.1 Problemstilling	1
1.2 Oppbygging av oppgaven.....	1
1.3 Begrensninger.....	2
2 Kummen gård	3
2.1 Bruksmønster på gården.....	3
2.1.1 Bruk av husdyrgjødsel	4
2.2 Gårdsbygget	4
2.2.1 Bygningskroppen.....	5
2.2.2 Ventilasjon.....	6
2.3 Bolighuset.....	7
2.3.1 Bygningskroppen.....	8
2.4 Energibruk på Kummen gård	9
2.4.1 Flisfyringsanlegget	11
3 Inneklima	13
4 Energieffektiviseringstiltak	14
4.1 Utskifting av vinduer og dører	14
4.2 Tetting av luftlekkasjer og etterisolering	15
4.3 Oppgradering av lysanlegg.....	15
4.4 Varmegjenvinning	16
4.5 Utskifting av utstyr.....	16
5 Energisystemer	17
5.1 Solcelleproduksjon	17
5.2 Biogassproduksjon av husdyrgjødsel	19
5.3 Varmepumpe	19
5.4 Mikroskala CHP-anlegg	20
5.5 Energilagring	20
6 Energieffektive bygninger og ZEB	21
6.1 Beregning av CO ₂ -intensitet i ZEB	22
7 Andre prosjekter	24
7.1 Søre Kvåle gård i Skjåk.....	24

7.2	Powerhouse Kjørbo	24
8	Pilotgård i prosjektet Grønn næringsutvikling	26
9	Økonomi og beregningsmetoder	27
9.1	Nåverdimetoden og kostnadsoptimal analyse	27
9.2	Økonomiske parametere	28
9.3	Markedsmuligheter og statsintensiver	30
9.3.1	Enova	30
9.3.2	Innovasjon Norge	31
9.3.3	Grønn framtid	31
10	Metodikk	33
11	Modellering i IDA-ICE	34
11.1	Inndata i simuleringen	35
11.1.1	Data for interne laster	35
11.1.2	Data for bygningsmateriell	38
11.2	Kalibrering av modellen	38
11.3	Produksjon fra solcellepanel	39
12	Scenarioer for analyse	41
12.1	Case 1: Konvensjonelle tiltak	42
12.2	Case 2: Reduksjon av oppvarmingsbehov	42
12.3	Case 3: Reduksjon av elektrisk behov	43
13	Resultater	44
13.1	Innsamlede måledata	44
13.2	Kalibrering i IDA-ICE	45
13.3	Simuleringsresultat	50
13.3.1	Inneklima	52
13.4	Case 1	53
13.5	Case 2	55
13.6	Case 3	56
13.7	Lønnsomhetsberegninger	58
13.8	Ambisjonsnivå i ZEB	61
14	Diskusjon	63
14.1	Modellering og kalibrering i IDA-ICE	63
14.2	Scenarioer og tiltak på gården	64
14.3	Kostnadsberegninger	66
14.4	Ambisjonsnivået ZEB	67
15	Konklusjon	69
16	Videre arbeid	70
	Referanseliste	71
	Vedlegg A: Materialer i vegg, gulv og tak i fjøs	A
	Vedlegg B: Materialer i vegg, gulv og tak i bolighus	B

Vedlegg C: Kostnadsestimat for solcelleanlegg	C
Vedlegg D: Predefinerte tiltak for støtte til eksisterende bygg	D

Figurliste

Figur 2.1: Oversiktstegning over avdelingene i fjøset.	5
Figur 2.2: Fjøset med garasje, sett fra sørøst.....	5
Figur 2.3: Oversiktstegning over våningshuset med svømmebasseng.....	7
Figur 2.4: Våningshuset på Kummen, sett fra sør.....	7
Figur 2.5: Utsnitt av snittegningen av loftet på våningshuset.....	8
Figur 2.6: Elektrisitetsforbruket for Kummen gård i kWh gjennom året, fra 2012 til 2017....	10
Figur 2.7: Varighetskurver for årene 2014 til 2017 og gjennomsnittet for de samme årene. ..	10
Figur 2.8: Flisfyringskjelen, Veto Stoker 120 kW, på Kummen gård.	12
Figur 5.1: Estimert potensiale for utnyttelse av solenergi på takoverflatene på gården. Utarbeidet figur fra solkart.no.....	18
Figur 5.2: Gjennomsnittlig daglig solinnstråling i Skjåk, med 36,7° helning, fordelt på måned i året.	19
Figur 11.1: Simuleringsmodell av fjøset i IDA-ICE.....	34
Figur 11.2: Simuleringsmodell av våningshuset i IDA-ICE.....	34
Figur 11.3: Fjøsets takvinkel, på modellen i IDA-ICE.....	40
Figur 12.1: Solcellepanel installert på låvetaket i IDA-ICE.....	43
Figur 13.1: Gjennomsnittlig målt elektrisk behov i kWh per måned og normal utetemperatur gjennom året.....	44
Figur 13.2: Varmeproduksjon fra flisfyringsanlegget i kWh per måned, sammenlignet med normal utetemperatur i måneden.....	45
Figur 13.3: Kalibrering med simulerte og virkelige verdier i månedsforbruk.....	46
Figur 13.4: Kalibrering i punktgraf med simulert og gjennomsnittlig målt elektrisk behov per måned.....	46
Figur 13.5: Kalibrering med varighetskurve over timesforbruket gjennom året.....	47
Figur 13.6: Kalibrering for det elektriske forbruket på en dag, med målinger fra 2016 og simulerte verdier med klimafil for 2016.....	48
Figur 13.7: Kalibrering i punktgraf med simulert og målt elektrisk behov per time for en dag i 2016.....	49
Figur 13.8: Simulert oppvarmingsbehov med klimafil sammenlignet med utetemperaturen, for året 2016.....	49
Figur 13.9: Simulert energibehov fordelt på oppvarming og elektrisitet. Elektrisk forbruk er delt inn i behovet til belysning, utstyr og ventilasjon.....	51
Figur 13.10: Operativ innetemperatur i fjøsets avdelinger gjennom året.....	52
Figur 13.11: Fordeling av energibehov og levert energi per måned for Case 1G.....	54
Figur 13.12: Fordeling av energibehov og levert energi per måned for Case 1P.....	54
Figur 13.13: Fordeling av energibehov og levert energi per måned for Case 2.....	56
Figur 13.14: Fordeling av energibehov og levert energi per måned for Case 3.....	57
Figur 13.15: Fordeling av energibehov og levert energi per måned for Case 3B.....	57
Figur 13.16: Kostnadsoptimale beregninger og spesifikt energiforbruk for ulike scenarioer.	59
Figur 13.17: Kostnadsoptimale beregninger og spesifikt elektrisk forbruk for ulike scenarioer.	60

Figur 13.18: Kostnadsoptimale beregninger og spesifikt oppvarmingsforbruk for ulike scenarioer.	60
Figur 13.19: Produksjonsunderskudd for ulike scenarioer, fordelt på ulike ambisjonsnivå innen ZEB.	61

Tabelliste

Tabell 2.1: Oversikt over avtrekksvifter og ventilene i de ulike avdelingene i fjøset.....	6
Tabell 2.2: Totalt energiforbruk for Kummen fra og med år 2012 til og med 2017.....	9
Tabell 2.3: Oversikt over innkjøp av flis årene 2016 og 2017.	12
Tabell 6.1: Gjennomsnittlig CO ₂ -intensitet for ulike energibærere i Norge (2013).	23
Tabell 8.1: Energigårdens klimatiltak som kan gjennomføres på pilotgårder i prosjektet Grønn næringsutvikling.....	26
Tabell 9.1: Økonomisk levetid for ulike tiltak.	28
Tabell 9.2: Kostnader for energieffektive tiltak i nye næringsbygg.	29
Tabell 9.3: Oppgitte kostnader for LED-armaturer fra leverandør, med installert effekt.	29
Tabell 9.4 Et utvalg av forhåndsdefinerte tiltak fra Enova, som kan være aktuelle for Kummen gård. [76]	31
Tabell 11.1: Varmeproduksjon fra griser, i vinter- og sommerhalvåret, fordelt i vektclasser.	36
Tabell 11.2: Varmeproduksjon oppgitt i MET, i de ulike avdelingene i fjøset. Verdiene for grisungene på de to fødeavdelingene er oppgitt i parentes.	36
Tabell 11.3: Inndata for materialer i vegg og gulv, i fjøs og bolighus.	38
Tabell 11.4: Potensiell produksjon i kWh i året for ulike takoverflater på gården.	40
Tabell 12.1: Tiltakspakker for de ulike casene, med tilhørende energiforsyning.	41
Tabell 13.1: U-verdier fra simulert modell i IDA-ICE og minimumskravene til TEK17.	50
Tabell 13.2: Simulert årsproduksjon fordelt på bruker og bygg på et år.....	51
Tabell 13.3: Operative minimums- og maksimumstemperaturer i fjøset og huset.	53
Tabell 13.4: Fordelingen av elektrisk forbruk, oppvarmingsforbruk og generering fra solceller i Case 1G og Case 1P.	53
Tabell 13.5: Fordelingen av elektrisk forbruk, oppvarmingsforbruk og produksjon fra solceller i Case 2.	55
Tabell 13.6: Fordelingen av elektrisk forbruk, oppvarmingsforbruk og produksjon fra solceller i Case 3 og Case 3B.....	56
Tabell 13.7: Besparelse, levetid, investering og beregnet nåverdi for ulike scenarioer.....	58
Tabell 13.8: Nødvendig støtte i prosent for at simulerte scenarioer kan oppnå lønnsomhet. ..	58

Forkortelser

ACH	<i>Air Changes per Hour</i> . Luftutskiftninger per time.
BTT	Beste tilgjengelige teknologi.
CHP	<i>Combined heat and power</i> . Kraftvarmesystem.
COA	<i>Cost Optimal Analysis</i> . Kostnadsoptimal analyse.
EPBD	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i> . Bygningsenergidirektivet.
EPD	<i>Environmental Product Declaration</i> . Miljødeklarasjon.
EPS	Ekspandert polysteren.
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i> . Livssyklusanalyse.
LED	<i>Light-Emitting Diodes</i> . Lysemitterende dioder.
MET	<i>Metabolic Equivalent</i> . Metabolsk ekvivalent.
MVA	Merverdiavgift.
SFP	<i>Specific Fan Power</i> . Spesifikk vifte-effekt.
VAV	<i>Variable Air Volume</i> . Variabelt luftvolum.
ZEB	<i>Zero Emission Building</i> (her). Nullutslippsbygg.

Begrepsliste

Anaerob	Nedbryting uten oksygentilgang.
Ensilering	Konservering av gras til fôr, her i rundballer. En prosess i surt miljø og uten tilgang på luft.
Gjeldpurke	Purke etter avvenning, og i tiden frem til ny grising (fødsel).
Grovfôr	Rundball, høy eller halm. Varierer med året.
Krafftôr	Fôr til gris. Består hovedsakelig av malt korn.
Kårbolig	Bolighus for tidligere drivere/eiere.
Purke	Hunnkjønn av svin.
SD-anlegg	Sentralt driftskontrollanlegg.
TEK17	Byggteknisk forskrift.
Våningshus	Bolighus tilknyttet gårdsanlegg.
Årspurke	Defineres som 365 fôrdager hos bedekte purker, telles fra første bedekning til utmelding.

1 Innledning

Det anslås at bygninger står for mer enn 36 % av alle klimagassutslippene i Europa [1]. Dette gir grunnlag for å sette i gang tiltak for å redusere utslipp med ulike energieffektiviseringstiltak og utnyttelse av fornybare energikilder i bygg. Dette gjelder både kontor- og industribygg, boliger, skoler, sykehus og bygg tilknyttet landbruk. Energibruken i bygninger i Norge har hatt en jevn økning siden 90-tallet og frem til i dag. Dette gjelder alle forbruksgrupper, blant annet for bygninger tilknyttet landbruk og fiske [2]. I Norge i 2009 var det totalt 510 000 bygg som var tilknyttet denne kategorien, noe som tilsvarer litt over 13 % av alle bygg i landet [3].

Energibruken på en gård vil variere i stor grad med hva som eventuelt blir dyrket, hvilke dyr besetningen på gården består av og størrelse på gård og jordbruksareal. Foreløpige tall fra SSB viser at det i 2016 var registrert totalt 41 064 jordbruksbedrifter, der 38 976 var drevet av personlige brukere og de resterende bestod av samdrifter, institusjoner og aksjeselskap. Fra 2015 har antallet jordbruksbedrifter gått ned 2,3 %, og har i gjennomsnitt de siste ti årene hatt en nedgang på 2,1 %. På samme tid har jordbruksarealet per bedrift hatt en jevn økning fra 2002 til i dag. De foreløpige tallene som foreligger for 2017 for jordbruksbedrifter med husdyrhold viser at det totale antallet er 28 012. På disse bedriftene er det nesten 90 000 griser. [4, 5]

Gården Kummen i Skjåk består av større og mindre bygninger, bygd i ulike tidsperioder fra 50-tallet og frem til 2000-tallet. Både grise fjøset og bolighuset på gården har trolig et potensiale for energieffektivisering. Med et fokus som i dag, er det derfor aktuelt å se på slike type bygg for å se hva som kan være aktuelt å forbedre, samt hvilke alternativ som er aktuelle. Det er i Norge veldig mange gårdsbruk, noe som gir grunnlaget for at det er en aktuell problemstilling å ta tak i.

1.1 Problemstilling

Hvilke energieffektiviserende tiltak kan være aktuelle å gjennomføre på gård, og hvilken sammensetning av energiforsynings- og lagringsteknologier kan være aktuelle på Kummen gård? I hvilket grad er det mulig å oppnå et bygg som er selvforsynt med energi, og hvilket potensiale har den aktuelle gården for å oppnå et nivå innenfor ZEB? Ved utførelse av kostnadsberegninger, hvilke løsninger er optimale?

1.2 Oppbygging av oppgaven

Oppgaven bygger videre på en prosjektoppgave som gikk ut på å samle informasjon om aktuelle tiltak, energiforsyningsmuligheter og energibruk på gårder. I tillegg ble det i oppgaven samlet inn informasjon om gårdsbygget, bruksmønster og energibruk, for å bygge opp en modell i simuleringssystemet IDA-ICE.

Modellen skal videre kalibreres for å kunne representere gårdsbyggene. Deretter skal det simuleres ulike tiltaksscenarioer som er satt sammen på bakgrunn av litteraturstudium. Analysering av resultatene skal utføres ved hjelp av kostnadsberegninger og vurdering av nullutslippsmuligheter.

1.3 Begrensninger

Simuleringsmodellen i IDA-ICE blir justert i løpet av arbeidet med oppgaven, da det blir samlet inn mer informasjon og detaljer etter hvert. Når det videre skal gjennomføres tiltak og endringer som skal simuleres i programmet kan resultatene vise til at det er feil i modellen. Dette kan komme fram når forventede eller beregnede endringer ikke stemmer overens med resultatet. Slik kan det være nødvendig å gå tilbake i modellen for å gjøre endringer, noe som igjen fører til at selve oppbyggingen kan ta en del tid. Det må derfor kjøres mange flere simuleringer enn nødvendig, og først antatt. Disse forsinkelsene kan medvirke til at ikke alle ønskelige scenarier blir simulert og gjennomført i oppgaven.

I IDA-ICE finnes det mange parametere som kan endres på, noe som gjør at det lett kan forekomme feil i modellen, som kanskje ikke kommer fram i resultatene. Dette er med på å gjøre at simuleringene er noe usikre. Det finnes også noen verdier som bestemmes i programmet som vil gjelde for hele modellen, altså begge byggene som er simulert. I realiteten er det ikke nødvendigvis like verdier for to ulike bygg, noe som kan forårsake feilberegninger tilknyttet byggenes egenskaper.

Kostnadsestimater utført av ulike bedrifter og selskap kan variere i mindre og større grad, i tillegg til at de ofte er beregnet på ulike grunnlag og for bestemte typer bygg og anlegg. Dette medfører en usikkerhet i valg av priser som benyttes i kostnadsberegninger, og kan derfor resultere i feilberegninger.

2 Kummen gård

Gården Kummen ligger i Skjåk kommune i Nord-Gudbrandsdalen i Oppland. Den har siden 1998 blitt drevet av sivilagronom Tore Rune Kummen. Gården består av et større grise fjøs med låve, et bolighus, garasje og stabbur. Fjøset er på tre etasjer med sju avdelinger for gris i mellometasjen. I tillegg er det en kårbolig ca. 100 m i avstand fra gården.

Det er 100 mål eller 100 000 m² med dyrka areal på gården, samt 250 mål skog. Av dyrka areal består halvparten av korn og andre delen av gras. Kornsorten er bygg, og blir brukt til matproduksjon. Halmen fra kornproduksjonen blir brukt til grisene. Deler av graset blir tørka til høy, der noe blir brukt som fôr til grisene og det resterende blir solgt. Resten av graset blir ensilert i rundballer, som videre blir brukt som fôr på gården eller solgt videre.

Besetningen i fjøset er en avlsbesetning, der alle hendelser blir registrert og innrapportert til Norsvin, som er svinebøndenes avlsorganisasjon. I fjøset er det en formeringsbesetning med 50 årspurker. I året er det da 130 produserte kull med ca. 12 avvente smågriser per kull. Rundt 500 blir solgt som drektige ungpurker og 250 blir sendt til slakt, bestående av hovedsakelig utrangerte purker og ungpurker som er uegna som livdyr. Alle hanngrisene blir solgt som kastrerte smågriser ved rundt 25 til 30 kg. Besetningens egne purker er av rasen norsk landsvin. Disse blir inseminert med rasen Yorkshire, der avkommet blir det som er kalt hybridpurke. Videre blir disse inseminert med rasen Duroc, og blir solgt til andre grisprodusenter som drektige purker. Dette er hovedinntektskilden på gården.

2.1 Bruksmønster på gården

Daglig arbeid i fjøset består av stell og pynting av grisebinger, i tre til fire timer om morgenen og en time om ettermiddagen. Dette inkluderer rengjøring av binger, strøing av flis og fôring med grovfôr, i tillegg til fôring med kraftfôr i føde- og smågrisavdelingene. Det blir også gjennomført inseminering og brunstsjekk. Justering av fôrmengde og brunstsjekk blir gjort under morgenstellet, det samme gjelder tømning av møkkrenner. Tømningen av møkkrennene skjer naturlig ved en metode som kalles vakuuttømming, og bruker derfor ingen energi. Fôret består av kraftfôr av malt korn og restprodukter fra meieriindustrien, kalt myse. Dette blir blandet i anlegget, og blir pumpet ut tre ganger daglig i hver avdeling. Det er nødvendig med jevnlig omrøring i anlegget, både før og mellom fôringstidene.

Hver uke blir det gjennomført drektighetstester, flytting av griser, undersøking av potensielle livdyr og avgjørelser av hvilke dyr som skal bli sendt til slakt og til salg. Det blir også brukt tid på planlegging, registrering og administrasjon, samt levering av smågris, slaktegris og livdyr. I tillegg blir det utført vedlikehold og rensing av fôringsanlegget, og flisfyringsanlegget blir tømt for aske og renses.

Hver sjuende uke er det grisefødsler, det blir da gjennomført vask av alle fødebinger, i tillegg blir smågrisbingene vasket hver 14. uke. De resterende avdelingene i fjøset blir vasket minst en gang i året, og ved behov. I ca. fire til fem dager er også egne varmelamper påslått i fødeavdelingen for grisungene, sju ganger i året.

Gjennom året går det mye elektrisitet til lys, bruk av høytrykksspyler ved vasking, avtrekksvifter og fôringsanlegg. Det benyttes i dag et lysstyringssystem i fjøset. Det som forårsaker de store elektrisitetstoppene i løpet av året er tørking av korn og høy, i tillegg til omrøring i og pumping av husdyrgjødsel. Den kombinerte høy- og korntørken er plassert på låven. Høytørkingen foregår i slutten av juni måned, mens tørking av korn foregår i månedsskiftet mellom august og september. Tørken kjøres mellom rundt 100 timer i et normalår, på hver av de to nedtørkingene. Tørketiden varierer i stor grad fra år til år, etter hvor fuktig høyet eller kornet er ved innhøsting.

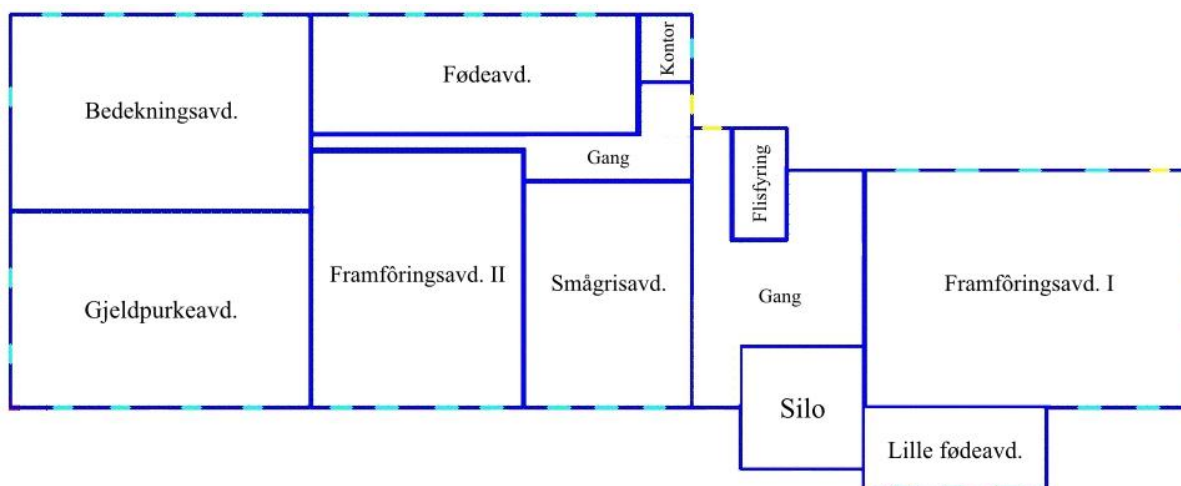
2.1.1 Bruk av husdyrgjødsel

Det produseres totalt 1 800 m³ husdyrgjødsel på et år på gården. Dette blir samlet inn fra flyterenner som er i alle avdelinger i fjøset. Med fem til femten dagers mellomrom blir rennene tømt og gjødsla blir ført ned i gjødselkjellere som er plasserte under avdelingene, hvor det blir midlertidig lagret. Det er en gjødselkjeller under den eldste delen av fjøset med en kapasitet på 300 m³, i tillegg til en under den nyeste delen på 500 m³. Mellom gjødselkjeller og avdeling er det tett forbindelse. Ved behov utnyttes det også en gjødselkjeller som er plassert under garasjen nedenfor fjøset. Denne har en kapasitet på 400 m³. Det blir overført til denne via rørledninger, men på grunn av høydeforskjellen på de to gjødselkjellerne er det ikke nødvendig med energi for å forflytte gjødsla.

Den produserte mengden gjødsel blir spredt på totalt 350 mål. I tillegg til da å bli spredt på de 100 målene tilknyttet gården er det nødvendig å spre det på 250 mål til. Dette blir da utført på nabogårdene. Under utkjøring er det nødvendig med konstant omrøring. Dette blir i det minste lageret gjort av en pumpe som går på elektrisitet, i lageret på 500 m³ er det installert to omrørere, som blir koblet til hver sin traktor, som igjen går på diesel. Den siste gjødselkjelleren har en omrører, med tilkobling på samme måte. I tillegg kreves det en traktor til utkjøring og en traktor til pumping inn i rørledninger som blir lagt ut over det dyrka arealet. Dette vil si at det krever to til fire traktorer for spredning av husdyrgjødsel, avhengig av hvilket lager det blir hentet ut fra.

2.2 Gårdsbygget

Totalt areal på fjøset er på ca. 1 400 m², og er et bygg med to og tre etasjer. I nederste etasje er det garasje og større oppbevaringsrom, samt en silo og møkkatank. Denne delen av bygget ligger under bakkenivå på nordsiden. I den mellomste etasjen er grisebingene som er fordelt på sju avdelinger; fødeavdeling, lille fødeavdeling, smågrisavdeling (12-30 kg), framfôringsavdeling I (30-70 kg), framfôringsavdeling II (70-130 kg), bedekningsavdeling og gjeldpurkeavdeling. Disse er vist i Figur 2.1. Vinduer er her illustrert i lyseblått langs veggene, mens utgangsdører er markert i gult. I alle avdelingene unntatt framfôringsavdeling II er det lagt gulvvarme. Over den eldste og østvendte delen av fjøset er det også en låve som blir benyttet som lagringsplass av gras, høy, halm, flis og kraftfôr.



Figur 2.1: Oversiktstegning over avdelingene i fjøset.

Den eldste delen av fjøset er bygd i 1955, og består av låve, griseavdeling, silo og garasje under. I 1972 ble det utvidet på den vestlige delen av fjøset med to avdelinger til, samt en oppbevaringskjeller. I tillegg ble det bygd på en mindre avdeling på den sørlige siden av gårdsbygget i 1975. Den siste påbyggingen ble gjort i 2000, med tilhørende garasje, på den vestlige og nordlige delen av den forrige påbyggingen. De nyeste delene av fjøset er på to etasjer. På gården er det i tillegg en garasje for traktorer og et stabbur, disse byggene er uten oppvarming og derfor ikke medregnet i modellen. Garasjen er plassert nedenfor fjøset og har et areal på 184,8 m², og en takhøyde på 3,5 m. Figur 2.2 viser fjøset sett fra sør med garasjen til venstre framfor. Belysningen i fjøset består av enkle og doble lysrør i armaturer med en effekt på 36 W eller 58 W. Totalt er det installert belysning tilsvarende 3 662 W i avdelingene, kontoret og gangene i fjøset.



Figur 2.2: Fjøset med garasje, sett fra sørøst [6].

2.2.1 Bygningskroppen

Veggene i nederste og første etasje på den eldste delen av bygget består av to deler støpt betong på 15 cm hver, med 15 cm torvstrø i midten. Over tid har torvstrøet blitt borte flere steder, noe som har blitt oppdaget ved utskifting av vinduer. Det kan være flere grunner til at dette skjer. For eksempel ved at det kommer mus inn som spiser av det, eller at det blir fuktig og derfor synker sammen inne i vegg. Gulvet mellom garasje og første etasje består av 12 cm betong med 5 cm EPS (ekspandert polysteren). Taket mellom avdelingen og låven består av 20 cm betong med sagflis over. Låven er uisolert i tak og vegger, og har høyeste høyde på 10,7 m og laveste på 5,6 m. Låvetaket får derfor en vinkel på 36,7° fra horisontalen. Takmaterialet over

låven er ikke laget for å tåle mye vekt, og har i tillegg to glassfiberplater for å kunne slippe inn dagslys på låven. Oversikt over vegg-, tak- og gulvsjikt finnes i Vedlegg A.

Veggene i kjelleren på den nyeste delen, som ikke er under bakkenivå, består av 25 cm betong. Der veggene står mot grunn er det i tillegg lagt et lag isolerende EPS. Veggene i første etasje med griseavdelingene består av reisverk i tre, samt trepanel som kledning, 10 cm mineralull og Steniplater på innsiden. Gulvet mot kjeller/garasje er tilsvarende som i resten av fjøset, bestående av 12 cm betong og 5 cm EPS. Takkonstruksjonen er tresperrer med 15 cm mineralull og 20 cm innsprøytet mineralull og stålplater innvendig, på delen som er påbygd i 2000. Taket fra 1972 er tresperrer med 20 cm mineralull, og trepanel på innsiden. Taket på hele fjøset er dekt med trapesplater.

Høyden på innsiden av første etasje i den eldste delen av fjøset er på 2,2 m, mens det i den påbygde delen på nordsiden varierer fra 2,6 til 3 m fra gulv til tak. Rommet til siloen er på 10 m fra bakkenivå til taket.

Alle vinduer som er installerte i fjøset er av samme type, da de har blitt skiftet ut gjennom årene. Disse er av typen tolags fastkarmvinduer, uten åpningsramme. Disse har en U-verdi på 2,7-2,8 W/m²K [7]. Det er brukt to ulike størrelser. Den ene med 1,2 m bredde og 0,8 m høyde, og den andre med 1 m bredde og 0,7 m høyde.

2.2.2 Ventilasjon

Ventilasjonsanlegget i fjøset består av avtrekksvifter i avdelingene som sammen med flere ventiler er automatisk justerte etter innnetemperaturen. I Tabell 2.1 er det vist en oversikt over antallet vifter og ventiler som er plassert i de ulike avdelingene i fjøset. Når det er behov for avkjøling i avdelingene økes hastigheten på viftene, samtidig som ventilene åpner seg mer. Med unntak av ventilene i den lille fødeavdelingen, er alle automatisk styrte. Alle ventilene er 50 cm brede og 20 cm høye, og har da et areal på 0,1 m². Dette arealet tilsvarer da arealet når ventilene er helt åpne. Åpningen varierer stort sett mellom 2 cm og 20 cm gjennom året, der full åpning forekommer om sommeren når det er høy utetemperatur. Alle viftene er levert av J. L. Bruvik AS via Fjøssystemer AS.

Tabell 2.1: Oversikt over avtrekksvifter og ventilene i de ulike avdelingene i fjøset.

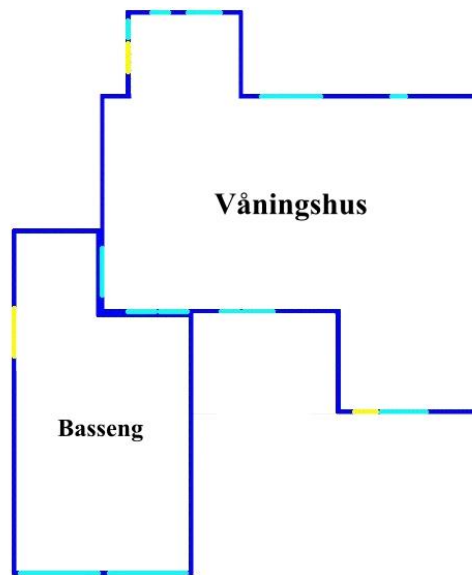
Avdeling	Antall avtrekksvifter	Luftmengde-tilførsel [m³/h]	Antall ventiler	Plassering
Fødeavdeling	1	6 400	6	Vegg
Lille fødeavdeling	1	2 000	2	Vegg (manuelle)
Smågrisavdeling	1	10 800	9	Tak
Framføringsavdeling I	2	16 500	12	Vegg
Framføringsavdeling II	1	15 400	18	Tak
Bedekningsavdeling	1	9 000	12	Tak
Gjeldpurkeavdeling	1	10 500	12	Tak

I tabellen er det også oppgitt beregnet lufttilførsel fra Fjøssystemer AS, med hensyn til størrelse og antall griser i de ulike avdelingene [8]. Bruvik oppgir viftene brukt i avdelingene med en

SFP-verdi på $0,56 \text{ W/m}^3/\text{s}$, med unntak av den noe mindre viften i lille fødeavdeling som har en SFP-verdi på $1,55 \text{ W/m}^3/\text{s}$ [9].

2.3 Bolighuset

Bolighuset på gården ble bygd i 1957 og er på tre etasjer, med et tilhørende svømmebasseng i nederste etasje. Oversiktstegning er vist i Figur 2.3. Videre blir etasjene omtalt som kjeller, første etasje og andre etasje. Svømmebassenget ble bygget på i 1979, i tillegg ble gangen i første etasje utvidet i 2002. Figur 2.4 viser våningshuset sett fra sør, med det første påbygget til venstre. Kjelleretasjen ligger under bakkenivå på nordsiden av bygget. Her er det også en mindre leilighet med egen inngang og utleiemuligheter. I denne leiligheten bor det mellom en og to personer gjennom året. I første og andre etasje av bygget, og i deler av kjelleren, er det fire til fem brukere.



Figur 2.3: Oversiktstegning over våningshuset med svømmebasseng.

Det er naturlig avtrekksventilasjon i bygget. Dette innebærer at det er plassert avtrekksvifter på bad og kjøkken, som benyttes ved behov. Tilført luft skjer gjennom åpne ventiler og gjennom utettheter i bygget. Bassenget plassert i påbygget er i bruk gjennom hele året, og har tilhørende pumper som sirkulerer vann og luft til enhver tid det er vann i det. Oppvarmingen av bassenget skjer ved hjelp av flisfyringsanlegget og et vannbårent system.

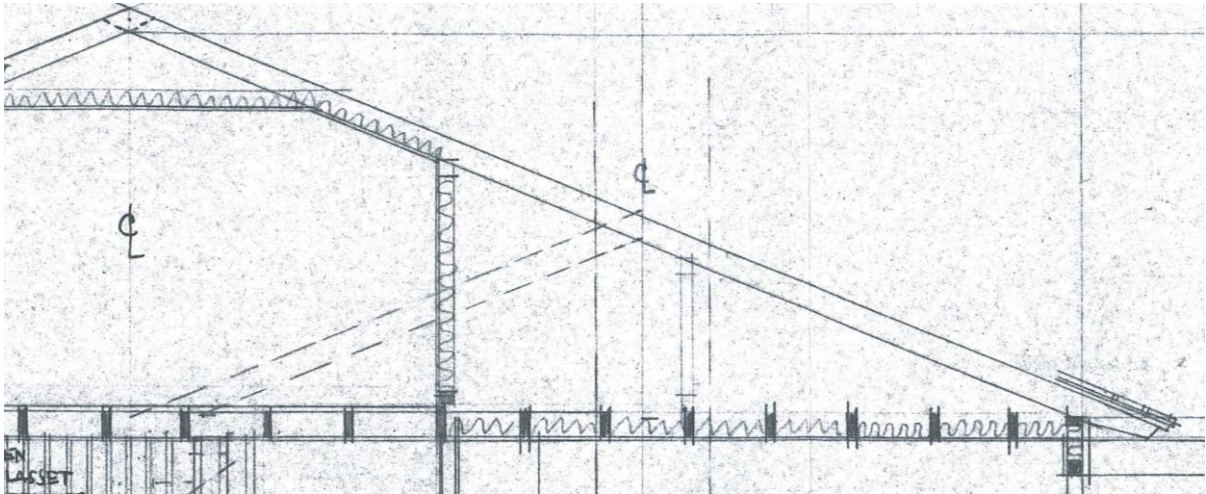


Figur 2.4: Våningshuset på Kummen, sett fra sør [6].

2.3.1 Bygningskroppen

Fra innsiden og ut består veggene over kjelleren av vekselpanel i tre, et lag diffusjonstett papp, 10 cm med mineralull, to lag med impregnert papp og trepanel som kledning. Vegg og tak (skråtak) på loftet er isolert med 10 cm mineralull og et lag diffusjonspapp. Taket luftes med ventiler i gavlene. Høyden i alle rom er 2,3 m, med unntak av bassenget der høyden er 2,4 m.

I kjelleren, med unntak av svømmebassenget, er det murvegger, som fra innsiden består av trepanel, 15 cm mur, 10 cm løse Lekakuler og deretter 15 cm med mur igjen. I bassenget er det fra innsiden 10 cm med teglstein, et lag plast, 10 cm mineralull, et lag papp og trekledning på utsiden, med reisverk i tre i veggen. Gulvet mot bakken er støpt betong på 15 cm, med Lecakuler, tilsvarende de i veggen i kjelleren, under bygget. Mellom kjelleren og første etasje er det fra ned og opp 15 cm betong, 10 cm med tilfarere med mineralull og gulvbord i tre. Etasjeskillet mellom første og andre etasje mot beboelsesrommene er ikke isolerte. Oversikt over vegg-, tak- og gulvsjikt finnes i Vedlegg B.



Figur 2.5: Utsnitt av snittegningen av loftet på våningshuset [10].

Taket utforming er vist i Figur 2.5. Her er det illustrert hvor isolasjonen mellom taket og beboelsesrom i bygget er plassert. Under skråtaket på sidene er det kott som er isolert mot tak i første etasje og vegg i andre etasje. Isolasjonen i etasjeskillet her er isolert med flis fra byggetiden, men er senere etterisolert med mineralull. Skråtaket inne på kottene og i midten av bygget består fra innsiden av trebord, tresperre, takbelegg og takplater som tekning. Taket over bassenget innvendig er flatt og isolert fra innsiden med 10 cm Lekablokker, et lag med papp og 20 cm mineralull dekt med plast. Over er det tilsvarende skråtak med kaldt, luftet loftsrom. Vinduene har varierende størrelser rundt om på hele bygget. Disse er av typen tolags ruter, med åpningsramme, og en U-verdi på 2,3-2,5 W/m²K [7].

2.4 Energibruk på Kummen gård

I Norge har våningshus det høyeste gjennomsnittlige energiforbruket av husholdninger, og ligger på rundt 31 500 kWh i året [11]. Forbruket blir dekt av elektrisitet og vedfyring, og en liten andel olje og parafin. Det er også disse byggene som har størst andel vedfyring for å dekke forbruket sitt. I 2012 hadde 94 % av alle våningshus elektrisk oppvarming, og 99 % hadde vedfyring. Andelen som hadde egen sentralfyr var på 8 %, uten økning siden 2009. Fra 2009 til 2012 var det en økning i andelen med varmepumpe fra 17 til 30 %. [12]

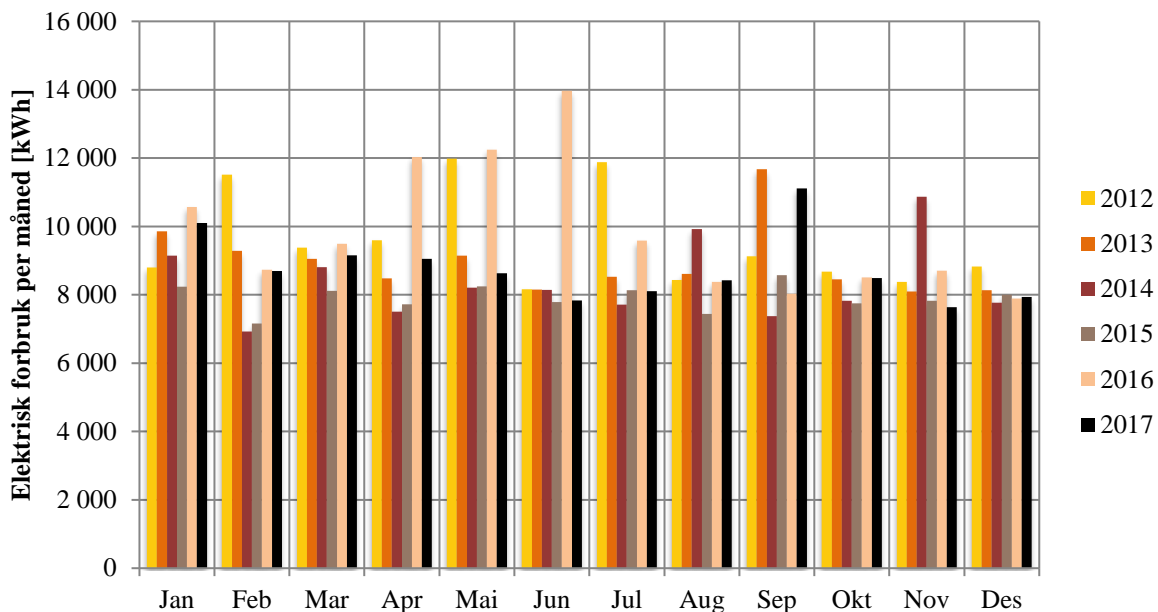
Det finnes ikke egne data for energibruken i bygg tilknyttet landbruket i Norge, med unntak av våningshus. Som utgangspunkt for energibruken til en tradisjonell norsk gård, blir derfor data for Kummen gård benyttet.

Data for energiforbruket til Kummen er hentet fra energiverket Skjåk Energi KF, som er et kommunalt foretak eid av Skjåk kommune. Forbruket oppgitt i kWh i året er vist i Tabell 2.2, og viser samlede verdier for fjøset og bolighuset på gården. Disse er målt ved hjelp av en strømmåler. Det høyeste elektrisitetsforbruket de siste seks årene var i 2016 og i 2012, mens det laveste var i 2015. Mellom det høyeste og laveste årsforbruket var det over 23 000 kWh. Elektrisitetsforbruket her utgjør bruk av lys og andre elektriske komponenter, avtrekksviftene i fjøset, kjøring av høy- og korntørke og drift av fôringsanlegget. Oppvarmingen, unntatt elektriske varmekabler i gulv på bad i våningshuset, er ikke inkludert i energiforbruket, da dette dekkes av det vannbårne systemet.

Tabell 2.2: Totalt energiforbruk for Kummen fra og med år 2012 til og med 2017 [13].

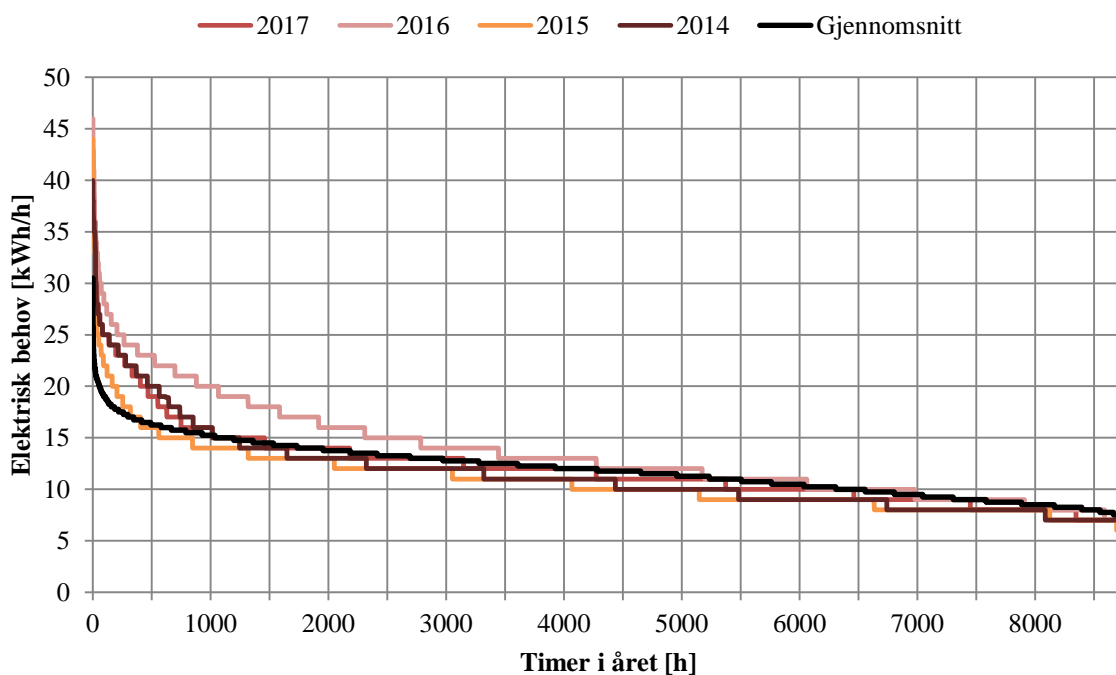
År	Totalt forbruk [kWh/år]
2017	105 152
2016	118 396
2015	94 991
2014	99 960
2013	107 218
2012	115 164

Elektrisitetsforbruket i månedene gjennom året for 2012 til og med 2017 er vist i Figur 2.6. Grafen illustrerer når gjennom året forbruket er høyest, og når det er lavest. Behovet for levert energi i løpet av en måned er aldri lavere enn 6 000 kWh. Grafen viser at det gjennom året er et jevnt behov for elektrisitet, i tillegg til at det er flere større topper gjennom året. Toppene gjennom året oppstår på ulike tidspunkt, men det kan ses at årene 2012 og 2016 med størst totalforbruk hadde begge høye topper i løpet av vår- og sommermånedene. Dette kan ha en sammenheng med at det er i samme periode som høy- og korntørken kjøres, samt at det er da det kjøres ut husdyrgjødsel og det er behov for omrøring.



Figur 2.6: Elektrisitetsforbruket for Kummen gård i kWh gjennom året, fra 2012 til 2017 [13].

Varighetskurvene i Figur 2.7 viser de fire varighetskurvene for årene 2014 til og med 2017 i farger. Den sorte varighetskurven illustrerer det gjennomsnittlige elektriske forbruket per dag fordelt på antall timer. Gjennomsnittskurven har både færre og lavere elektrisitetstopper enn det de andre årene har. Grunnen til dette er at toppene i de ulike årene ikke oppstår på samme tidspunkt noe som gjør at gjennomsnittet ikke blir like høyt. De høyeste gjennomsnittlige verdiene oppstår i midten av april, og noen i juni og august. Fra grafen kan det ses at forbruket i 2015 var jevnt over lavere og hadde få, men høye toppe. Sammenlignes dette med året 2016 var det her færre toppe, men et jevnere høyt elektrisitetforbruk. Årene 2017 og 2014 har et veldig likt forbruk, med en jevnere varighetskurve.



Figur 2.7: Varighetskurver for årene 2014 til 2017 og gjennomsnittet for de samme årene [13].

2.4.1 Flisfyringsanlegget

Flisfyringsanlegget ble satt i drift og installert i fjøset i 2007, og forsyner i dag med et vannbårent system både bolighuset på tre etasjer og fjøset. Fra før var det tre sentraler som var koblet til hvert sitt vannbårne system i fjøset, i tillegg til et eget vannbårent system koblet til radiatorer i våningshuset. Elkjeler ble før 2007 brukt for å varme opp systemene, i tillegg til at det var mulighet for å benytte vedfyringsovn tilkoblet systemet i huset. Flisfyringskjelen ble levert av Hallenstvedt Import-Salg AS. Ved installasjonen ble fyringsovnen koblet til de tre sentralene, i tillegg til at det ble lagt rørtilkobling mellom fjøset og våningskjelleren. Gulvvarme er lagt i den ene enden av hver bing, og dekker ca. en tredjedel av gulvet i bingen. Dette tilsvarer ca. en fjerdedel av det totale gulvarealet i avdelingene, når gangarealet også regnes med. I fødeavdelingen er det på gulvvarme gjennom hele året der smågrisene oppholder seg, men i de resterende avdelingene med gulvvarme er det bare på i vinterhalvåret, når det er behov for det.

I huset er det en tilkoblet tank som flisfyringsanlegget er koblet opp mot. Fra her varmes det sirkulerende vannet i våningshuset opp. Vannet fra fyringsanlegget blir varmet opp til 70 °C, og holder en temperatur på ca. 65 °C når det kommer til tanken. Dette er på grunn av noe varmetap på veien.

I de ti årene som anlegget har vært i drift har det vært et minimalt vedlikeholdsbehov. Tilførselen av flis skjer automatisk fra flislageret som er plassert ovenfor på låven. Asken fra flisfyringsanlegget må fjernes ca. en gang i uken, og blir videre spredt på jordene på gården. I tillegg til at det kjøpes flis fra leverandør, blir det også hugget flis fra egen skog på gården som blir brukt. Flisen blir innkjøpt fra Skjåk Almenning sitt lokale sagbruk, 7 km unna gården.

Flisfyringsanlegget er av typen Veto Stokerkjel og har en kapasitet på 120 kW. Figur 2.8 viser den installerte kjelen på gården. Til venstre på bilde vises innmatingskanalen for tilførsel av flis til forbrenningskjelen. Nederst på ovnen er det skuffer for oppsamling av asken. Røret som går ut av kjelen til høyre på bildet er oppvarmet vann som blir tilført systemet. Hallenstvedt oppgir flisfyringsanlegget til å ha en virkningsgrad på 85 %, med tørrflis [14].

I år 2016 og 2017 ble det ikke brukt annen flis enn fra leverandøren, og da ble det levert henholdsvis 197,6 m³ og 232,6 m³ flis. Dette tilsvarer da forbruket av brensel gjennom et år. Den totale kostnaden for flisen ble i 2016 på 23 916 kr, og i 2017 på 28 152 kr. Dette tilsvarer en spesifikk kostnad på 121,0 kr/m³. Tørr flis fra industri har et energiinnhold på 820 kWh/m³, eller 4,1 kWh/kg [15]. Dette vil si at den spesifikke energikostnaden for flisen levert i 2016 og 2017 var på 14,76 øre/kWh.



Figur 2.8: Flisfyringskjelen, Veto Stoker 120 kW, på Kummen gård [6].

Med det oppgitte volumet for flis brukt i 2016 og 2017, samt energiinnholdet og virkningsgraden for ovnene kan varmeproduksjonen for et år regnes ut. Oppvarmingsbehovet for 2016 og 2017 er da beregnet til å være på henholdsvis 137 727,2 kWh og 162 122,2 kWh. Dette gir et gjennomsnittlig behov på 149,9 MWh per år. Siden 2016 og 2017 er de eneste årene det bare ble brukt flis fra leverandør til kjelen, og det ikke finnes informasjon om hvor mye flis som er brukt fra egen skog andre år, er det dette gjennomsnittet som blir brukt som oppvarmingsbehovet per år.

En oversikt over flisinnkjøpene for årene 2016 og 2017 er vist i Tabell 2.3, og viser betalingsdato og kostnaden for kjøpene. Tabellen viser at det er større og oftere innkjøp av flis i vinterhalvåret, og motsatt i sommerhalvåret. Likevel kan ikke tallene benyttes til å lage en oversikt over forbruket gjennom året, da dataene ikke sier noe om hvor mye flis som til hver tid er lagret på gården og når og hvor mye som brennes til ulike tider. Flisfyringen vil henge sammen med utetemperaturen, og behovet for oppvarming vil stige når den synker.

Tabell 2.3: Oversikt over innkjøp av flis årene 2016 og 2017.

Innkjøp 2016		Innkjøp 2017	
Dato	Pris [kr]	Dato	Pris [kr]
29. februar	8 193,87	28. februar	6 753,37
30. april	3 050,01	31. mars	3 292,09
31. august	1 525,15	30. april	4 938,11
30. september	1 270,84	30. juni	1 646,04
31. oktober	3 292,09	30. september	1 646,04
30. november	3 292,07	31. oktober	1 646,04
31. desember	3 292,07	30. november	4 938,11
		31. desember	3 292,09
Totalt	23 916,09	Totalt	28 151,86

3 Inneklima

For å angi om et rom eller en sone er termisk komfortabelt å oppholde seg i, er det mulig å benytte operativ temperatur. Denne forteller noe om hvilken temperatur brukeren opplever, og er vanlig å benytte der det blir brukt større varmekilder. Egnede operative temperaturer blir beregnet ut i fra aktivitetsnivå og bekledding. Vanlige operative temperaturer i bolighus kan ligge mellom 17 og 22°C, avhengig av bruk [16].

Retningslinjer for hold av svin i Norge er laget av Mattilsynet med hensyn til «Forskrift om hold av svin», og inneholder blant annet informasjon om klimaet i dyrerom, lys og oppbygging av oppholdsrommene. Tilsvarende forskrifter og retningslinjer er laget for hold av andre produksjonsdyr i Norge.

Lufttemperaturen i dyrerommet bør være mellom 15-20 °C, med unntak av drektige purker som kan ha noe lavere temperatur dersom underlaget er tilstrekkelig isolert [17]. Det skal i tillegg hos nyfødte være tilgang på en lokal varmekilde og for smågriser være en liggeplass med temperatur mellom 20-26 °C [17]. Det er også viktig at oppholdelsesområdene er tørre og lune for dyra. På grunn av lite pels og dermed mindre isolasjon på kroppen slippes mye varme ut, noe som gjør at temperaturkravene er viktige å overholde [18]. Til sammenligning er det ikke oppgitt veiledende temperaturer for storfe, da de har svært god tilpasningsevne til kalde lufttemperaturer [19]. I vinterhalvåret bør lufthastigheten i ventilasjonsanlegget være lav for å unngå at temperaturen synker, mens det i sommerhalvåret er viktig å oppnå tilstrekkelig avkjøling av dyrene.

Det er i tillegg viktig med god ventilasjon og utskifting av luft på grunn av den høye ammoniakkkonsentrasjonen fra husdyrgjødsel til grisen [20]. Dette er noe som også gjelder i stor grad for fjøs med fjærkre, som også har høye temperaturer som i grisefjøs. Inneklimaet i husdyrrom er preget av høye konsentrasjoner av gasser som CO₂ og NH₃ uten ventilasjon [21]. Det vanskelige miljøet inne i fjøset setter krav til ulike komponenter som skal installeres, og må være av godkjent materiale for å kunne benyttes [22].

4 Energieffektiviseringstiltak

Oppgradering av eksisterende bygg er et enkelt klimatiltak å gjennomføre. I følge artikkel ni i EU sitt reviderte bygningsenergidirektiv fra 2010, oppgis det at medlemsland skal sette klare mål og utvikle en fremgangsmåte for å oppgradere eksisterende bygninger. Det er krav om at det skal være tilgang på offentlig støtte, slik at bygg kan kvalifiseres som «nesten nullenergibygge». [23]

Ved å senke energibruken i bygg i Norge, spesielt elektrisitetsbruken, kan Norge i større grad være selvforsynt av elektrisitet og bidra til å redusere klimapåvirkninger. I tillegg til de samfunnsmessige fordelene, er det økonomiske fordeler ved å gjennomføre tiltak. Det er i stor grad elektrisitet som står for oppvarming av boliger og bygg i Norge i dag, og derfor vil kostnadene være avhengig av elektrisitetsprisen. Dersom det benyttes andre oppvarmingsmetoder eller energibehovet til bygget reduseres, kan kostnadene bli mindre. Dette vil variere med hvilke tiltak som blir gjort, hvor høye investeringskostnadene er og hvor lang levetiden er, med tanke på inntjeningstid. [24]

I tillegg til å gjøre tiltak på bygningskroppen for å redusere oppvarmingsbehovet, er det viktig å se på alternativer for å redusere elektrisitetsforbruket. Dette omhandler å se på elektrisk utstyr brukt i bygget, belysningen og ventilasjonsanlegget. Reduksjon av belysningsbehovet kan gjøres i form av passive tiltak, ved å utnytte naturlig dagslys med takvinduer og lysrør. I tillegg er det viktig å benytte seg av energieffektive lyskilder, som LED-pærer, og andre elektriske komponenter. En mulighet i større bygg er å bruke styringssystemer, ved hjelp av sensorer eller tidsinnstilling. [25]

4.1 Utskifting av vinduer og dører

Det forekommer tap av ulik størrelse i ulike dører og vinduer i bygg i dag. Sammenlignes vinduer med vegger kan disse ha et betydelig større varmetap. For eksempel kan et toetasjes hus med vinduer på 30 % av veggene ha et energitap på opptil 60 % gjennom vinduene. Ved å erstatte tolags vinduer med tre- eller firelagsvinduer kan det spares mellom 50 og 67 % energi. Energibesparelsen vil variere med gassen som blir fylt inn mellom lagene. Videre er avstanden mellom lagene i vinduet bestemt etter type gass, da varmegjennomgangen varierer med både avstand og gass. Det er vanlig å benytte luft eller en gass fylt med Krypton eller Argon [26]. Kostnadene kan likevel bli betydelig høye ved å skifte ut vinduer sammenlignet med for eksempel etterisolasjon av vegger. Dette vil også variere med hvor enkelt det er å utføre de ulike tiltakene, med tanke på utformingen av bygget fra før. [27]

Flerlagsglass med argongass er i dag det mest kommersielle alternativet på markedet i dag. Dette kommer av at prisen er betydelig lavere for denne typen glass sammenlignet med krypton, selv om sistnevnte har lavere U-verdi. Den laveste U-verdien er funnet til å være på $0,49 \text{ W/m}^2\text{K}$, bestående av tre 4 mm glass med 12 mm kryptongass mellom [26].

Passivhuskravet til TEK17 oppgir et minimumskrav på U-verdien til dører og vinduer til å være på $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$. Minimumskravene ellers er for begge $1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$. [28]

4.2 Tetting av luftlekkasjer og etterisolering

Luftlekkasjer i et bygg kan føre til varmetap i bygget, som igjen gjør at oppvarmingsbehovet blir høyere og energibruken øker. Lekkasjer kan forekomme spesielt mellom karm og ramme i dører og vinduer, ved gulv- og taklister, ved utsparinger for en pipe, ved tilknytninger mellom bygningsdeler, ved loftsluker/-dører og ved andre gjennomføringer i bygget. Vanlige tiltak for å tette kan være å legge tettelister ved aktuelle områder med luftlekkasje, samt fuging mellom ramme og karm i vinduer og dører[24].

Før rundt år 1955 ble ikke bygg isolert eller tettet med materialer som brukes i dag [24]. Det er derfor mye høyere varmetap i eldre bygninger, som ikke er etterisolerte, sammenlignet med dagens nybygg. Dette gjelder både etterisolering av tak, ulike veggmaterialer og utskifting eller etterisolering av vinduer. For å redusere oppvarmingsbehovet til bygget er en mulighet å etterisolere bygget. Dette kan gjøres både fra utsiden av bygget og fra innsiden og i taket, ved å legge til isolasjonsmaterialer. Ved innvendig etterisolering kan det lettere forekomme fuktskader, dersom varm og fuktig inneluft blir værende i isolasjonsmateriale og når duggpunktet og kondenserer. For å forhindre at fuktskader oppstår på denne måten kan det benyttes dampsperre på innsiden av isolasjonen. Dette er ikke like vanlig i eldre bygg, da disse ikke er like tette og sjansen for at kondens oppstår er liten. Ved å legge til mer isolasjon vil gulvarealet reduseres, og fasaden vil endres ved ytre etterisolering. I tillegg blir bygget tettere som kan føre til at det blir nødvendig med bedre ventilasjon, for å opprettholde et godt inneklima. Dette gjelder ved isolering av tradisjonelle isoleringsmaterialer som mineralull.

En mulighet kan være å benytte seg av moderne isolasjonsmaterialer som vakuuminformasjonspanel (VIP), gassfylte isolasjonspanel (GFP) eller aerogel. Disse materialene er noe dyrere, men har mye lavere varmekonduktivitet enn tradisjonelle isolasjonsmaterialer. Ulempene med materialene er at de er veldig skjøre, isolasjonsevnen til VIP og GFP vil reduseres over tid og disse kan heller ikke tilpasses på bygningsplassen da de er laget på forhånd. Aerogel er fortsatt så kostbart at det ikke ennå er et utbredt som vanlig isolasjonsmateriale. Varmekonduktiviteten til VIP ligger på 3 til 4 mW/mK [29]. Til sammenligning har mineralull en termisk konduktivitet på 30 til 40 mW/mK [30].

4.3 Oppgradering av lysanlegg

Utviklingen av energieffektive belysningssystem er viktig for reduksjon av elektrisitetsbruken i dagens belysningsanlegg. Ved å benytte riktige kontrollstrategier utviklet for anlegget, kan det gjøres store besparelser. I smarte bygg i dag er enheter styrt automatisk og intelligent etter beboers behov og preferanser. Dette gjelder også belysningen i bygget. Målet med å benytte et smart belysningssystem er å oppnå energieffektivitet uten at det skal gå på kompromiss med komforten. Et smart lysanlegg tar hensyn til flere ulike parametere som brukerpreferanse, tilgang på dagslys, antall brukere og bruksmønstre [31].

Bruken av LED som et smart belysningssystem har i de siste årene økt, på grunn av lengre levetid, høyere energieffektivitet, bedre fargeegenskaper, mindre størrelser og mer fleksibilitet. I tillegg har kostnadene blitt redusert, noe som har ført til at de har blitt benyttet i større grad [32]. Belysningen har svært godt lysutbytte per Watt, og kan i tilfeller redusere

energiforbruket til belysningen med opp mot 80 % [33]. Det er viktig å ta i betraktning at ved å benytte mer energieffektiv belysning kan det gå på betraktning av oppvarmingsbehovet. LED-belysning vil ikke gi fra seg varme på samme måte som tradisjonell belysning vil, noe som kan føre til at det blir et økt behov for oppvarming [24].

4.4 Varmegjenvinning

Et tiltak for å gjøre et bygg mer energieffektivt kan være å benytte varmegjenvinnings-teknologier. Dette kan gjøres ved å ta i bruk varmevekslere i et ventilasjonsanlegg, slik at varme som ellers ville blitt tapt kan utnyttes. Varmegjenvinning for grise fjøs er i dag lite utbredt [22]. Derimot finnes det flere varmevekslere som installeres i fjøs for fjørfe. Varmegjenvinning kan også anvendes ved å legge rør tilkoblet et vannbårent system som varmeveksles med husdyrgjødsel.

Ved å benytte en varmepumpe koblet til et mekanisk avtrekksanlegg er det mulig å utnytte varmen i avtrekksluften [34]. Prosessen driftes av varmepumpen, som derfor blir avhengig av tilførsel av elektrisk energi. På gården vil det være praktiske utfordringer å benytte denne løsningen, da det i dag består av flere store avtrekksvifter plassert i taket.

4.5 Utskifting av utstyr

Mye av energibehovet på en gård består av forbruket til forskjellig utstyr, som ellers ikke er vanlig å ha, på for eksempel kontorer, boliger, skoler og helsebygg. Det kan derfor være aktuelt å gjøre tiltak på dette området for å redusere det totale energibehovet på en gård. Dette kan innebære å skifte ut pumper, vifter og motorer, samt reduksjon av brukstid. Sistnevnte kan gjelde for utstyr tilknyttet flisfyringsovnen, høy- og korntørken, fôringsanlegget og ulike pumper. På Kummen kan det i tillegg være aktuelt å se på utstyret tilknyttet bassenget i våningshuset. For å vurdere ulike utskiftninger er det viktig å se på alderen til det aktuelle anlegget, hvilke alternativer som finnes som erstatning og kostnader som tilløper slike tiltak. Dersom det vil være aktuelt å redusere brukstiden, må det vurderes om det kan gå ut over den termiske komforten eller andre komponenter i byggene.

På grunn av bassenget som er på gården, er det muligheter for å se på brukstiden her. Denne kan reduseres ved at bassenget tømmes for vann i perioder for å redusere strømforbruket som kreves når det er fullt.

5 Energisystemer

For å muliggjøre et selvforsynt område eller bygg er det flere tiltak som bør gjennomføres. Energiforbruket bør reduseres og den lokale tilførselen av energi må økes sammen med et fleksibelt energisystem [35]. Det bør også benyttes energilagring, og energiutveksling i området. På grunn av variasjoner i produksjonen fra fornybare energikilder, er det ideelt å kombinere flere ulike produsenter for å danne et fornybart system. Et hybridssystem kan forme og eliminere den periodevise og ustabile energiproduksjonen [36].

På gårder i Norge er det ofte mer tilgjengelig areal til installasjon av ulike energiforsynings-teknologier, sammenlignet med eksisterende bygg i tettbygde områder. Dette gir muligheter for å kunne kombinere flere løsninger, samt å ta i bruk plasskrevende installasjoner. Derfor kan det ofte være flere ulike teknologier som kan være aktuelle på en gård. På gården blir behovet for oppvarming dekket av flisfyringsanlegget, noe som gjør det mindre aktuelt å benytte andre kilder for varmeproduksjon i dag. Det er likevel muligheter for at ulike teknologier kan kombineres. Det er ikke tilgjengelig tilkobling til et fjernvarmenett i området.

5.1 Solcelleproduksjon

Solcellepanel kan installeres på og rundt bygg, og har et behov for tilstrekkelig areal for å kunne utnytte solenergien i så stor grad at det kan bli produsert nok strøm til å forsyne det aktuelle bygget. En gård har ofte fordelen av å ha nødvendig areal både på gården og av takareal. I tillegg er den ofte plassert i åpent terreng, som gjør at det unngås skyggedannelse over paneler. Dette gjør det derfor aktuelt å se på mulighetene for å utnytte solenergi på Kummen gård.

Solceller omdanner solenergien til elektrisk energi. Solceller produsert i dag er stort sett basert på silisium, enten som monokrystallisk, multikrystallisk eller amorf silisium. Monokrystalliske solceller har den høyeste virkningsgraden av typene, samt også ofte den høyeste markedsverdien og produksjonskostnaden. Virkningsgraden for multikrystallinske ligger på rundt 14 til 18 %, mens den for monokrystallinske ligger på rundt 16 til 24 %, og har henholdsvis en effektutnyttelse på 40-65 W/m² og 75-155 W/m² [37].

For å kunne utnytte solinnstrålingen i størst mulig grad er det viktig å velge riktig vinkel og orientering på paneler ved installering. Panelene bør orienteres mot sør og vinkelen varierer ettersom hvilken breddegrad det aktuelle området er på. Gjennomsnittet for optimal vinkel på paneler i Norge ligger på ca. 40° fra horisontal akse, men på grunn av relativt lav produksjon gjennom vinterhalvåret kan det være aktuelt å benytte seg av en noe lavere vinkel. Sør i Norge, på breddegrad rundt 38, er det aktuelt med en vinkel på 38°. Nord i Norge, ved Tromsø på 69. breddegrad, vil det være aktuelt med en vinkel på ca. 47°, da solen ligger lavere her. Skjåk ligger på rundt 62. breddegrad [38], noe som tilsvarer at en ideell vinkel på panelet her vil være rundt gjennomsnittet. Det er mulighet for å montere et anlegg på et allerede eksisterende tak, benytte paneler som er integrert i taket, benytte skråmoduler der taket ikke har riktig helningsvinkel eller montere de på moduler på bakken [39].

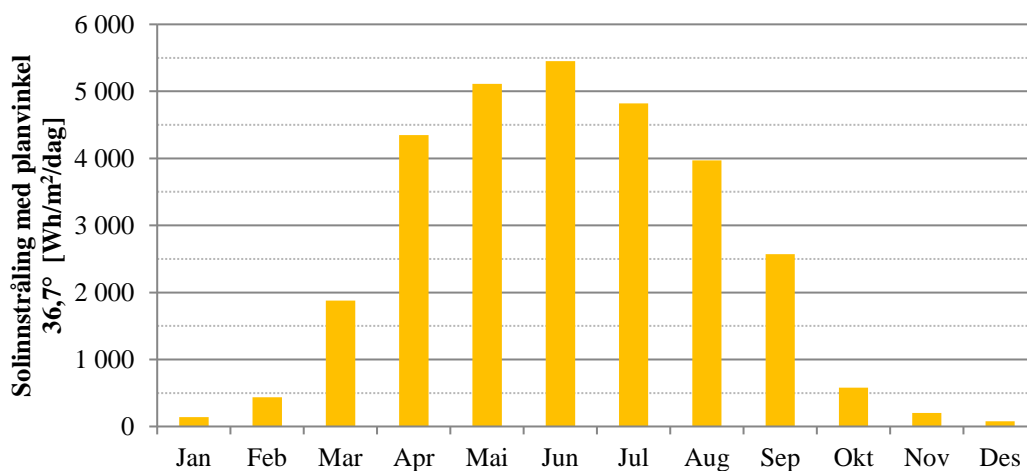
Ved installasjon av solcellepanel må det undersøkes hvilket behov det er for elektrisitet, og hvordan dette endrer seg gjennom året. Dette kommer av at produksjonen fra solcellepanelene vil være avhengig av solinnstrålingen som varierer over året. En fordel her kan da være å ha et jevnt elektrisitetsbehov. For eksempel ved elektrisk oppvarming eller et behov for elektrisk kjøling om sommeren, som på Kummen. Dersom det genereres elektrisitet det ikke er behov for kan strømmen eksporteres til strømmettet, men dette gir i dag liten eller ingen økonomisk gevinst for produsent. I tillegg må det tas hensyn til plass, vinkler og solinnstråling på lokasjonen.



Figur 5.1: Estimert potensiale for utnyttelse av solenergi på takoverflatene på gården. Utarbeidet figur fra solkart.no [40].

Figur 5.1 viser et estimert potensiale for utnyttelse av solenergi ved installasjon av solceller, på takoverflater på gården. Til høyre i bildet vises våningshuset. Alle takoverflater er her markerte i fargen gult, noe som tilsier en noe mindre egnet vinkel på takoverflaten. Dette kommer av at helningen her ikke er rettet mot sør. Det derimot flere av takoverflatene på fjøset. Av takene rettet mot sør er det taket over låven, markert i rødt, som har fått estimert størst solenergi-potensiale. Grunnlaget for estimeringen er gjort av solkart.no som har samlet inn informasjon om solinnstrålingen, takvinkelen, snø og vindlast i området, areal og himmelretning [40].

Vinkelen på låvetaket på $36,7^\circ$, er en god vinkel for å utnytte solinnstrålingen i Skjåk. Den årlige solinnstrålingen, med planvinkel $36,7^\circ$, er 903 kWh/m^2 [41]. Solinnstrålingen gjennom året i denne vinkelen er vist i Figur 5.2. Denne viser et relativt høyt potensiale for å produsere i de fleste måneder av året. I de fem vintermånedene fra og med oktober til og med februar vil produksjonen være relativt lav.



Figur 5.2: Gjennomsnittlig daglig solinnstråling i Skjåk, med 36,7° helning, fordelt på måneder i året [41].

5.2 Biogassproduksjon av husdyrgjødsel

På gårder kan det være aktuelt å utnytte seg av husdyrgjødsel som substrat for produksjon av biogass. Sammensetningen av gjødsla gjør at det fungerer bra som basissubstrat, da det gir en stabil utråningsprosess [42]. Biogassen kan videre benyttes som brensel til forbrenning, og energiproduksjon.

På grunn av anaerobe mikroorganismer i fordøyelsen til storfe, vil prosessen for biogassproduksjon settes raskt i gang. På samme tid vil mengden for potensielt biogassproduksjon være redusert på grunn av nedbrytingen som allerede har foregått. Utbyttet vil derfor være noe høyere hos for eksempel svinegjødsel sammenlignet med storfejødsel. Fordelen ved å benytte storfejødsel er at det fungerer bra som en stabilisator, da den ofte har høyere pH-verdier enn typisk avfall som det blir blandet med. I tillegg er det en fordel at det er mange mikroorganismer som blir tilført. På samme måte som storfejødsel, har også gjødsla fra gris god bufferkapasitet. På grunn av at griser har én mage, vil det i mindre grad forekomme anaerob nedbryting i fordøyelsen og derfor være et stort biogasspotensiale. Det er nødvendig med konstant omrøring i grisejødsel, da det ikke holder seg like homogent som storfejødsel. Dette vil da kreve mer energi under biogassproduksjonen. [42]

5.3 Varmepumpe

En varmepumpe utnytter varme fra en ekstern varmekilde, og leverer varme ved høyere temperatur til forbruker. For å flytte varmen benyttes høyverdig energi, som oftest elektrisitet. Typiske varmekilder som utnyttes er uteluft, fjell, jord, sjø- og grunnvann.

Varmepumper kan enkelt tilpasses ulike behov, da den kan brukes til både romoppvarming, tappevannsoppvarming og kjøling. Det er også muligheter for å koble varmepumper på eksisterende fjernvarmeanlegg og mindre vannbårne systemer. Ved oppvarming av bygg benyttes stort sett varmepumpen som grunnlast. Dette kommer av at investeringskostnaden for en varmepumpe er høy, mens driftskostnadene er lave. Varmepumper som tar opp energi fra uteluften har lavest investeringskostnader, men til gjengjeld vil andre kilder ha en sikrere varmeproduksjon på grunn av mindre temperaturvariasjoner til kilden [43].

5.4 Mikroskala CHP-anlegg

Kraftvarmesystem eller CHP (Combined Heat and Power) kan defineres som summen av komponentene varmemotor, generator, varmegjenvinning og elektrisk omformer. Et CHP-system utnytter spillvarme i elektrisitetsproduksjon, og øker slik totalvirkningsgraden til å bli høyere enn Carnotvirkningsgraden. Anlegget kan potensielt nå en totalvirkningsgrad på 90 % [44]. For bruk i bygninger er begreper som mikroskala og småskala CHP-anlegg aktuelle. Mikroskala CHP blir definert som kraftvarmesystem med en installert effekt på mindre enn 50 kW, og småskala CHP med en installert effekt på mellom 50 kW og 1 MW [44].

Konvensjonelle teknologier brukt for et anlegg er forbrenningsmotor, dampturbin og gass turbin [43]. Et CHP-anlegg kan benytte ulike kilder for kraftproduksjon, som biomasse og biobrensel i gassform eller i flytende form. Rasul et al. har i en studie undersøkt potensiale for å benytte anaerob nedbrytning til biogassproduksjon til bruk i mikroskala CHP, og påpekt at teknologien er egnet for landbruket og ikke i husholdningen [45]. Et kraftvarmesystem kan kobles på et vannbårent system sammen med andre varmeprodusenter.

5.5 Energilagring

Ved bruk av solcellepanel på gården kan det være en fordel å lagre energien for senere bruk, ved å benytte energilagringsteknologier. Slik kan det lagres energi når det er høy produksjon og benyttes når det er høyt behov. Noe som bidrar til økt andel egenforbruk. Det finnes i dag lagringsteknologi som er beregnet til spesifikke bruksområder, mens andre kan tilpasses. Det er ikke alle løsninger som er optimale i dag, men det antas en utvidelse av kunnskap og forbedring i sektoren fremover [46]. Det er antatt at det er nødvendig med en lagringskapasitet på 60 %, for å sikre at lagringen er tilpasset generering og forbruk [47].

Lithium-ion batterier er aktuelle å ta i bruk sammen med et eventuelt solcelleanlegg på en lokasjon. Dette er på grunn av lang levetid, lav selvutladning og høy energitetthet [47]. Sistnevnte innebærer at det ikke vil kreve veldig stor plass sammenlignet med andre teknologier. Dette kan være en fordel ved installasjon i eksisterende bygninger. Ulempen med batteriene er høye materialkostnader, samt at teknologien er sensitiv for temperatur- endringer [48].

I 2015 lanserte Tesla sitt første batteri for energilagring kalt Powerwall, laget for bolighus med solcelleanlegg [49]. Spesifikasjonene til batteriet er oppgitt av Tesla med en lagringskapasitet på 13,5 kWh, en levetid på 10 år, og en effektivitet på 90 % [50]. Det er mulig å øke den totale lagringskapasiteten ved å koble sammen opptil ti batterier. Kostnadene for en installasjon av et batteri er på 66 200 kr. I tillegg leverer selskapet større batterier kalt Powerpack, med en lagringskapasitet på 210 kWh per enhet [51]. Dette er et system som er egnet for større anlegg.

6 Energieffektive bygninger og ZEB

Dersom et bygg i dag skal kunne oppføres lovlig i Norge må kravene som står i byggeteknisk forskrift (TEK17) overholdes. TEK17 stiller tekniske krav til byggverk og setter grensen for det minimum bygget må ha av egenskaper. Dette gjelder blant annet krav til energieffektivisering, innemiljø, planløsninger og sikkerhet. Bygg som er oppført tidligere har måttet forholde seg til kravene i den gjeldende byggetekniske forskriften på den tiden. I TEK17 §1-2.: Forskriftens anvendelse på særskilte tiltak, står det i første ledd hvilke paragrafer som er gjeldende for driftsbygninger tilknyttet i landbruket, og bygninger for husdyrhold [52].

Det finnes ingen definisjon på hva et klimavennlig eller energieffektivt bygg er, men målet er at det skal ha et lavt energibehov samt en redusert påvirkning på miljøet. I hvilken grad bygget er energieffektivt avhenger av hvilke faktorer som inkluderes, samt hvor systemgrensen til bygget settes. Det er mulig å inkludere konstruksjonen, materialer, bruken og rivingen. I tillegg kan det vurderes om det skal vektas ut i fra energibruken eller utslipp. Ulike begreper er laget for mer energieffektive bygg enn de som blir oppført i henhold til TEK i dag. Et passivhus er definert som et bygg med et mindre energibehov enn tradisjonelle bygg. For å oppnå kravene til et passivhus, benyttes kriteriene som er oppført i standarden NS 3700 og NS 3701 [53].

Et annet begrep som benyttes er Zero Energy Building eller nullenergibygget og Zero Emission Building (ZEB) eller nullutslippsbygg. Videre benyttes forkortelsen ZEB for sistnevnte kategori. Det finnes ingen standarddefinisjon som er satt for å kunne benytte seg av begrepene, men ulike forskningssentre har laget egne definisjoner. Poenget med byggene er å benytte seg av fornybar energiproduksjon, i stedet for å koble seg på elektrisitetsnett og/eller fjernvarmenett. Med nullenergibygget skal det produseres nok energi med fornybare energikilder til å kompensere for forbruket gjennom den tiden som settes som en systemgrense. Det er heller ikke et krav om energiproduksjonen skal være på lokasjonen til bygget eller være en forsyningskilde som er tilkoblet flere bygg [53]. For å kunne oppnå et energieffektivt bygg er det viktig å redusere varmebehovet, og se på muligheter for etterisolering og utskifting av komponenter.

SINTEF sin forskningsavdeling har definert seks ulike ambisjonsnivåer som kan nås for å kalles et nullutslippsbygg eller ZEB. Målet med bygget her er å produsere elektrisitet og varme ved hjelp av fornybar energiproduksjon på stedet, som skal kompensere for utslippene innenfor systemgrensen som blir satt. Det kan velges om det skal ses på utslipp tilknyttet bruksfasen, bygging, materialbruk og riving av bygget. Brukstiden eller levetiden til et bygg er definert av ZEB til å være på 60 år. [53]

Dersom det skal inkluderes mer enn bare energibruken i driftsperioden, er bygget avhengig av å produsere mer energi enn den har behov for selv for å kunne kompensere for utslippene. Dette vil si at overskuddsvarme og -elektrisitet må eksporteres på tilkoblet fjernvarmenett og elektrisitetsnett. Ved eksport av elektrisitet er det viktig å ta hensyn til NVEs eksportgrense for plusskunder. Denne sier at det ikke skal på noe tidspunkt overføres mer enn 100 kW på nettet [54].

Ved tiltaksgjennomføringer og oppgraderinger av eksisterende bygg, er det mulig å kunne sette systemgrenser for bygget for å nå et ZEB ambisjonsnivå. Dette vil kreve nøye planlegging, som angår etterisolering, oppgradering av bygningskroppen og et energieffektivt ventilasjonsanlegg. I tillegg til et energieffektivt vannbårent system og undersøkelse av ulike energiforsynings-teknologier som kan være aktuelle. Det må slik videre beregnes forventet energiforbruk etter en oppgradering, og deretter kan det beregnes hvor mye utslipp det må kompenseres for ved bruk av fornybare energikilder i brukstiden. [53]

Dersom det ønskes å ta med materialbruken innenfor systemgrensene er det viktig å undersøke hvordan ulike materialer blir produsert. Dette gjøres ved å samle inn LCAer og EPDer utført for ulike produkt for å sammenligne miljøpåvirkningen de har. Deretter velges de alternativene som gir best miljømessig utslag, og videre skal de tilhørende utslippene kompenseres for.

Det finnes i dag ikke noe fjøs som er bygget med et ambisjonsnivå om å oppnå ZEB. Det nærmeste er Campus Evenstad som er et bygg tilknyttet Høgskolen i Innlandet sin avdeling for økologi og landbruk. Det er i dette prosjektet oppnådd ZEB-COM ved bruk av CHP kombinert med tidligere løsninger og gjenbruk av materialer. I utgangspunktet var det her solfangere, solcellepanel og flisfyring fra før på lokasjonen. Andre bygg det er aktuelt å se på er Powerhouse Kjørbo, på det grunnlaget at det er renoverte bygninger. Dette prosjektet er nærmere beskrevet i kapittel 7.2. [55]

6.1 Beregning av CO₂-intensitet i ZEB

CO₂-verdien som benyttes i ZEB-beregningene er avhengig av hvilke energibærere som benyttes. Energibærerne påvirker den inntektsførte verdien per kWh produsert fra fornybare energikilder, samt CO₂-verdien som det skal kompenseres for. Det finnes ulike beregninger for hvor mye utslipp som følger strøm fra nettet i Norge. På grunn av utveksling med andre nett i Europa kan ikke strømmen som brukes regnes som utslippsfri, til tross for den store andelen produksjon fra vannkraftverk. Det argumenteres med at CO₂-intensiteten bør ligge på gjennomsnittet til strømmen på kraftmarkedet i Europa. SINTEF benytter i sine beregninger en forventet nedgang på 90 % i utslippet fra kraftmarkedet innen 2050, da dette er beregnet som mulig av SINTEF Energi [56]. Det er antatt at dekarboniseringen skjer noe lineært.

Den gjennomsnittlige CO₂-intensiteten i Europas kraftmarked var på 360 g CO₂-ekv./kWh i 2010 [56]. På grunnlag av denne verdien og en antagelse om at dekarboniseringen skjer tilnærmet lineært er CO₂-intensiteten beregnet. Gitt en levetid på 60 år er denne verdien i dag beregnet til å til å ligge på 132 g CO₂-ekv./kWh [57]. Denne intensiteten blir videre benyttet.

Gjennomsnittlig CO₂-intensitet for ulike energibærere i Norge, per 2013, er vist i Tabell 6.1 i synkende rekkefølge. Denne viser at flis, som blir brukt på Kummen i dag, har en CO₂-faktor på 4 g CO₂-ekv./kWh, og at elektrisitetsnettet har en intensitet på 132 g CO₂-ekv./kWh [58].

Tabell 6.1: Gjennomsnittlig CO₂-intensitet for ulike energibærere i Norge (2013) [58].

Energibærere	CO ₂ -faktor (g ekv./kWh)
Olje (fossil)	285
Gass (fossil)	210
Avfallsforbrenning	185
Elektrisitet fra nettet*	132
Bioetanol	85
Bioolje	50
Biodiesel	50
Biogass	25
Trepellets	7
Treflis	4

*CO₂-intensiteten til nettet er hentet fra ZEB prosjektrapport 2016 [57].

Ved bruk av solceller til produksjon av elektrisitet vil utslippene tilknyttet driften tilsvare 0 g CO₂-ekv./kWh. Dette vil gjelde for et ZEB-regnskap som ser på kompensasjon for driften. Dersom materialbruk inkluderes må utslippene fra produksjonen til moduler regnes med, og divideres på levetiden.

Energien som eksporteres regnes som overskudd i ZEB-regnskapet. Denne mengden vil da kompensere for utslippene tilknyttet materialbruken. Det er vanlig å benytte symmetrisk vektning ved eksport, da energien som eksporteres til elektrisitets- og fjernvarmenett antas å ha lik verdi [56]. Dette vil si at hver kWh eksportert blir inntektsført som om den erstatter en kWh fra nettet. Eventuelle utslipp fra egen produksjon må trekkes fra.

Ved beregning av mulig oppnåelse av et ambisjonsnivå for gården Kummen, kan det regnes ut hvor mye det er nødvendig å produsere fra solceller. Mengden kan beregnes ut ifra Ligning 6.1:

$$\frac{Behov_{el} \cdot Utslipp_{el} + Behov_{varme} \cdot Utslipp_{flis}}{Utslipp_{el}} = N\ddot{o}dvendig\ produksjon \quad (6.1)$$

der behovet er oppgitt i kWh per år og utslippet er oppgitt i g CO₂-ekv./kWh. Dette resulterer i en nødvendig produksjon fra et solcelleanlegg, oppgitt i kWh per år. Verdiene som blir benyttet er for elektrisitetsutslippet 132 g CO₂-ekv./kWh og for flisfyringen 4 g CO₂-ekv./kWh.

7 Andre prosjekter

Som nevnt finnes det ikke noen landbruksbygg som i dag er bygget for å oppnå et mål innen ZEB sine krav. Det blir likevel mer vanlig å gjennomføre energieffektive tiltak på gårder. Fra Enova sin årsrapport i 2016 kan det ses at det blant annet ble installert varmevekslere og varmegjenvinningsvifter i ti fjøs i Norge, med en støtte på opptil 140 000 kr [59]. I tillegg finnes det gårder i Skjåk som har tatt i bruk fornybare energikilder.

7.1 Søre Kvåle gård i Skjåk

På Søre Kvåle i Skjåk har det blitt installert plansolfangere, som sammen med vedfyring står for oppvarmingen av bolighus og driftsbygg på totalt 383 m². Anlegget består av totalt ti sørvendte solfangere med et brutto areal på 21 m² og 19 m² effektivt areal, og har vært i drift siden 2010. Vedkjelen har en installert effekt på 50 kW, og er sammen med solfangeranlegget og et akkumulatorsystem koblet på et vannbårent oppvarmingssystem. Akkumulatorsystemet består av en hovedtank på 6 000 liter, en mindre tank på 750 liter og et tilkoblet rørsystem. [60]

For å utnytte solenergien om høsten og våren i størst mulig grad er helningsvinkelen satt til 65°. Vedfyring og solfangerne står for alt av oppvarmingsbehov på gården i disse årstidene. I gode solperioder kan det likevel være tilstrekkelig med vedfyring bare en gang i uka. I de fem til seks mest solrike månedene i året er det nesten aldri behov for vedfyring, da solfangerne alene står for oppvarming av tappevann og gulvvarme i enkelte rom. Det er ikke behov for daglig tilsyn på solfangersystemet, da det i stor grad styrer seg selv. Dersom temperaturen i solfangeren når 10 °C høyere enn temperaturen nederst i hovedakkumulatortanken, starter sirkulasjonspumpa automatisk. [60]

I rundt tre måneder på vinterhalvåret er sola lite eller ikke tilstede, noe som gjør at det nesten ikke produseres varme fra solfangerne. Siden solfangerne ikke dreies med sola, vil det maksimale antallet utnyttbare soltimer nås ved rundt 20. mars. Dette vil si at selv om soloppgangen skjer tidlig på sommeren, vil ikke anlegget starte før rundt klokken ni på morgenen. Grunnlaget for at solfangerne ble fastmontert er de klimatiske forholdene i bygda og kostnader. Det er ofte sterk vind i området noe som kan forårsake skader og ødeleggelse på anlegget. I tillegg ville en investering av et dreibart system doblet prisen for hele solfangeranlegget. [60]

7.2 Powerhouse Kjørbo

Powerhouse Kjørbo er de første renoverte ZEB-byggene i Norge. Kontorbyggene hadde vært i drift siden 1985, og ble i 2013 til 2014 renovert til passivhusstandarden. Bygget nådde ambisjonsnivået ZEB-OM÷EQ, noe som vil si at utslippene tilhørende driften av bygget gjennom livstiden (O) med unntak av utstyrsbruk (EQ) og materialene brukt i oppgraderingen (M), skulle kompenseres for ved fornybar energiproduksjon. Utstyrsbruken innebærer elektrisitetsbehovet til drift av komponenter og utstyr i bygget. Det gjelder ikke bruk av lys og ventilasjonsanlegg. Beregnet energiforbruk og målt energiforbruk etter et år, hadde minimal differanse etter at bygget ble satt i drift i 2014. I etterkant av idriftsettingen ble det gjort mindre tiltak for å redusere energibruken. Solskjermingen ble justert for å unngå unødvendig lysbruk og termostaten ble endret for å redusere et høyt energibruk tilknyttet varmtvannet. [57, 61]

Som energikilder i byggene ble det benyttet et varmepumpesystem som utnytter grunnvarme ved hjelp av ti borehull på 200 m dybde. Systemet er tilkoblet et vannbårent system som forsyner bygget med varme, ved hjelp av radiatorer, og varmer opp tappevannet. Som reservekilde er byggene tilkoblet et fjernvarmenett. Solcellepaneler plassert på taket står for elektrisitetsproduksjonen, og består av 950 moduler med en virkningsgrad på 20 % og dekker et takareal på 1 560 m². [57]

Systemgrensen ble satt til å inkludere materialutvinningen og produksjonen og materialer relatert til solcelleanlegget. Materialene for infrastrukturen tilknyttet vann og avløp var ikke inkludert. I beregningene er det heller ikke tatt med biologisk CO₂ tilknyttet tømmeret og den naturlige karbonabsorpsjonen fra karbonatisering ved betong. Bærekonstruksjonen fra 1985 i betong ble bevart, og de innebygde utslippene ble ikke inkludert i regnestykket. Standarden NS-EN 15978 sier at miljøbelastningene til et materiale skal tildeles basert på gjenværende levetid. Det ble beregnet at ved utskifting av den gamle bærekonstruksjonen, og bruk av nye materialer ville det resultere i en 50 % reduksjon i miljøpåvirkning. Dette ble konkludert med å være motstridende, og for å oppfordre til gjenbruk av eldre materialer, ble det valgt å se bort i fra dette. På grunnlag av flere analyser ble det antatt at utslippet og energibruken innebygd i solcellemodulene ville reduseres med 50 % i løpet av de neste 30 årene, noe som reduserte de totale verdiene. Dekonstruksjonen ble beregnet til å ha lik belastning som konstruksjonsdelen og installasjonen av bygget. [57]

Det ble satt et stort fokus på å minimere energibehovet til ventilasjonsanlegget. Her ble det derfor tatt i bruk behovsstyring, fortrengingsventilasjon, effektiv varmegjenvinning og et konstruksjonsdesign for å minimere vifteenergi. Trappene i bygget ble utnyttet for vertikal tilførsel av friskluft og for avtrekk. Ved å utnytte designet i bygget, ble materialbruken her redusert. [57]

8 Pilotgård i prosjektet Grønn næringsutvikling

Sammen med tolv pilotgårder i Oppland skal energigården utvikle og gjennomføre klima- og energiplaner for gårdene. Prosjektet vil legge til rette for en miljøvennlig utvikling i landbruket, samt å bidra til spredning av kunnskap. Målet er å redusere fossilt energiforbruk med opptil 70 % og klimagassutslipp med opptil 30 %, i løpet av fem år. Energigården ønsker å spre pilotgårdene i fylket for å at prosjektet skal kunne representere hele fylket. Dette prosjektet er planlagt å gjennomføres fra januar til desember 2018. Fra og med mars 2018 ble Kummen gård med som en av pilotgårdene i prosjektet. Det er gratis å delta i prosjektet som er delt inn i tre faser. [62]

Den første fasen omhandler å innhente nødvendig informasjon om drift, energiforbruk og andre parametere som gir utgangspunkt for beregning av dagens klimagassutslipp. Den andre fasen av prosjektet skal kartlegge økonomien, og mulighetene for å kunne benytte seg av støtteordninger til gården. Slik kan det finnes hvilke tiltak som er aktuelle å gjennomføre for pilotgården. Den tredje og siste fasen av prosjektet er gjennomføringen av tiltak, med rådgivning fra landbrukskontor og Energigården. [62]

I energi- og klimaplanen til Energigården er det satt sammen elleve ulike tiltak som kan være aktuelle å gjennomføre på de utvalgte pilotgårdene. Tiltakene er vist i Tabell 8.1. Energigården har de siste årene utviklet en energi- og klimakalkulator for å kunne kalkulere lønnsomheten og i hvilken grad ulike tiltak er miljøvennlige. Her skal det benyttes detaljert informasjon om gården, driften, gjødselbruk, husdyr, energiforbruket og annen relevant informasjon. [62]

Tabell 8.1: Energigårdens klimatiltak som kan gjennomføres på pilotgårder i prosjektet Grønn næringsutvikling [62].

Nr.	Klimatiltak
1	Energieffektivisering av bygningsmassen
2	Erstatte fossil eller direkte el til bio- og solenergi til oppvarming
3	Energieffektivisering av bruken av maskinparken
4	Omlagge til fornybart drivstoff med lavere CO ₂ -utslipp
5	Godt jord- og husdyrbruk, som øker opptaket av CO ₂ og reduserer utslipp
6	Godt skogbruk, som øker opptak av CO ₂ og biomasseproduksjonen
7	Jord- og skogbrukeren som produsent av bioenergi og annen fornybar energi
8	Husdyrbrukeren som produsent av biogass
9	Øke bruken av tre i bygningsmassen
10	Redusere energibruk og klimagassutslipp ved ut- og innleie av maskiner
11	Gården som leverandør av fornybar energi

9 Økonomi og beregningsmetoder

Når det er ønskelig for byggeier å redusere kostnader tilknyttet energi, er det aktuelt å se på egenproduksjon av energi og/eller energieffektiviseringstiltak. Her spiller økonomi en stor rolle for hva som er aktuelt å gjennomføre for bygget. Utgangspunktet til bygget vil avgjøre hvor store investeringskostnadene vil bli. Det må derfor tas i betraktning hvilke energiforsyningsmetoder som benyttes i dag, hvor godt bygget er isolert og hvilket ventilasjonssystem som benyttes. I tillegg er det viktig å se på hvilke støtteordninger som kan være aktuelle å benytte, da disse kan være utslagsgivende for om tiltakene kan gjennomføres.

Dersom en bedrift er selvstendig næringsdrivende vil det vanligvis ved innkjøp tilknyttet bedriften kunne bli fraskrevet merverdiavgiften (mva) for kjøpene. Dette gjelder installasjoner, kjøretøy, strøm og andre varer og tjenester som benyttes. Kostnader på ulike tiltak og installasjon av fornybar energiproduksjon vil derfor kunne bli rimeligere, sammenlignet med for eksempel for private eiendommer og husholdninger.

Det benyttes i prinsippet de samme økonomiske beregningsmetodene for investeringer i energieffektiviseringstiltak, som med andre investeringer i samfunnet. Forutsatt at kostnadene ikke overstiger pris på ny energi, skal det prioriteres tiltak som reduserer det totale energiforbruket. De vanligste metodene for å undersøke fordeler og ulemper er nåverdimetoden, differansemetoden, nåverdikvotemetoden og annuitetsprinsippet eller årskostnadsmetoden. Nevnte metoder benyttes for å beregne kapitalverdien til investeringene. I tillegg kan internrentemetoden, inntjeningstidsmetoden, energisparekostnadsmetoden og kontantstrømsanalyse benyttes som metoder for lønnsomhetsberegning. [16]

9.1 Nåverdimetoden og kostnadsoptimal analyse

Ved å regne ut netto nåverdi kan det undersøkes om en investering vil være lønnsom over tid. Kroner som skal tjenes eller brukes i fremtiden beregnes til dagens verdi, ved å se på rente og levetid. Netto nåverdi beregnes ut ifra Ligning 9.1:

$$NV = B \frac{1-(1-r)^N}{r} + S(1+r)^{-N} - I \quad (9.1)$$

der NV er nåverdi i kr, B er besparelsen i kr per år, N er levetid i antall år, r er renten i prosent, S er gjenværende verdi i kr og I er investering i kr [16]. For å beregne nåverdien til ulike simuleringsscenarioer for gården er det valgt å ikke inkludere det andre leddet i ligningen som omhandler gjenværende verdi for tiltakene. Dette er fordi det ikke er aktuelt med salg etter endt levetid. Jo høyere nåverdien er, desto mer lønnsom er investeringen. Dersom verdien er negativ vil ikke investeringen være lønnsom. Aktuelle økonomiske levetider for ulike tiltak og installasjoner er oppgitt i Tabell 9.1. For beregninger benyttes en renteverdi på 4 %.

Tabell 9.1: Økonomisk levetid for ulike tiltak.

Objekt	Levetid, N [år]
Isolasjon [16]	60
Vinduer [16]	30
Belysning [63]	20
Solcellepanel [64]	30

Kostnadsoptimal analyse (COA) benyttes for å undersøke avviket mellom de miljømessige og økonomiske målsettingene for å definere strategier og retningslinjer for bygningskonstruksjonen. Det er en beregningsmetode for rapportering av nasjonale energikrav på grunnlag av kostnadsoptimalisering innenfor rammen av bygningsenergidirektivet (EPBD). Kostnadseffektiviteten til energikravene kan vurderes ved å beregne livssyklus kostnadene for bygg, på grunnlag av ulike pakker med tiltak som er anvendt på et referansebygg, for deretter å sammenligne disse med energiforbruket og/eller CO₂-utslippet. [65]

Ut ifra de samlede resultatene til de ulike pakkene kan det lages en spesifikk kostnadskurve. Tiltakskombinasjonen med den laveste kostnaden vil gi minimumsnivå av krav til en optimal kostnad. Dersom pakkene kommer ut med samme kostnad, bør kombinasjonen som gir lavest energiforbruk normalt velges. For å få en korrekt og representativ kurve bør alle vanlige typer kombinasjoner av tiltak tas med i beregningen. Dette innebærer å inkludere både kortvarige og langvarige tiltak, ulike reguleringer, ulike målsetninger til energikrav, samt bruken av ulike fornybare energikilder. [65]

9.2 Økonomiske parametere

For å kunne beregne lønnsomheten til ulike tiltakskombinasjoner på fjøset og våningshuset må det ses på hvilke kostnader som gjelder for installasjonene og oppgraderingene. Investeringskostnadene kan variere ettersom hvilke leverandør og installatør som benyttes. I tillegg må det medregnes kostnader for kjøp av strøm fra nettet, priser på flis og eventuelle betalinger for levering av egenprodusert strøm på nettet. Oppgitte kostnadsestimater er ekskludert mva.

Pris på strøm levert fra nettet er beregnet ut i fra gjennomsnittlige kostnader gjennom årene 2016 til og med 2018. Prisen for levert strøm er da beregnet til å være på 81,12 øre/kWh. For betaling av oppvarmingen på gården, som i dag består av flisfyringsanlegget er det en kostnad tilknyttet flisinnkjøp. Det er her beregnet en spesifikk energikostnad på 14,76 øre/kWh. Dersom det skal leveres strøm til nettet fra egen produksjon er det beregnet en kostnad ut i fra marginaltapssatsen og gjennomsnittlig spotpris på sommerhalvåret de siste fem årene for området [66, 67]. Dette gir en salgspris på 24,03 øre/kWh levert.

I en rapport fra NVE har Multiconsult oppgitt gjennomsnittlige investeringskostnader for ulike energieffektiviseringstiltak i nye næringsbygg [68]. Disse er oppgitt i Tabell 9.2. Energioppfølging innebærer å ta i bruk et system som synliggjør detaljert energibruk i bygget, for lys, ventilasjon, oppvarming, kjøling og teknisk utstyr. Tiltaket isolering og tetting innebærer å tette utettheter i bygget og å isolere vegger, tak og gulv. Investeringskostnaden her

varierer fra 26 kr/m² til 139 kr/m². Med teknisk utstyr (BTT) menes tiltak som installering av lavenergiarmaturer, varmegjenvinning, solavskjerming og SD-anlegg, og at det i disse tilfellene brukes det beste utstyret tilgjengelig. Det tredje tiltaket, energistyring, involverer behovsstyring av lys, ventilasjon og oppvarming, med tilhørende automatikk. Utskifting av vindu er ikke inkludert i tiltaket isolering og tetting, men ligger inne i det siste tiltaket lavenergiløsning som er en kombinasjon av de fire overnevnte energieffektiviseringstiltakene i tabellen.

Tabell 9.2: Kostnader for energieffektive tiltak i nye næringsbygg [68].

Energieffektiviseringstiltak	Investeringskostnad [kr/m²]
Energioppfølging	10
Isolering og tetting	77
Teknisk utstyr (BTT)	107
Energistyring	141
Lavenergiløsning	250

For å beregne etterisolering av vegg og tak benyttes kostnadsestimat oppgitt av Enova [69]. Utregningene er utført i tråd med TEK17 og er beregnet for et kontorbygg. Ved isolering av taket til en U-verdi på 0,18 W/m²K, samt reduksjon av lekkasjetallet oppgis en pris på 435 kr/m² fasade. Dersom U-verdien og lekkasjetallet reduseres for veggene er det estimert en pris på 1 161 kr/m² fasade. Priser for etterisolering og tetting vil være reduserte dersom det uansett skal skiftes ut fasade på bygget [70].

Ved utskifting av vindu oppgir Norsk Prisbok priser for nye vinduer med U-verdi mellom 0,7 og 0,98 W/m²K til å ligge på 5 415 kr/m² vindusflate. For utskifting av dører er det oppgitt en stykkpris på 3 435 kr. [71]

To ulike leverandører oppgir priser for LED armaturer som kan erstatte lysrør. Disse er vist i Tabell 9.3. Leverandørene leverer hvert sitt merke, med ulike priser. Prima 30 W, 43 W og 54 W, vil henholdsvis kunne erstatte enkle 36 W eller 58 W armaturer, doble 36 W armaturer og doble 58 W armaturer [72]. Prisoverslaget for montering fra leverandøren av Glamox-armaturene oppgir en timespris på 730 kr for montør og 530 kr for lærling [73]. Dersom lysstyringen skal forbedres antas det at det er nødvendig med to timer elektrikerarbeid på dagens system. Dette tilsvarer en kostnad på 1 460 kr.

Tabell 9.3: Oppgitte kostnader for LED-armaturer fra leverandør, med installert effekt [72, 73].

LED armatur	Installert effekt [W]	Kostnad per armatur [kr]
Glamox	27	1 190
	34	1 490
	49	1 590
Prima	30	699
	43	799
	54	899

Ved installasjon av solcelleanlegg er det flere faktorer som utgjør den totale prisen. Dette gjelder materialer som modulene, vekselretter, monteringsutstyr, driftsovervåkningsutstyr, i tillegg til mekanisk og elektrisk installasjonsarbeid og andre utgifter. I en kostnadsstudie fra 2013 gjennomført av Multiconsult blir det oppgitt at en mulig totalpris for et system med multikrystallinske solceller for en enebolig med installert effekt på 7 kW ligger på 21 000 til 31 000 kr/kW. For et næringsbygg med 100 kW installert effekt oppgis samme prisen til å ligge på 12 000 til 20 000 kr/kW. Anleggskostnaden for eneboligen er inkludert 25 % mva, noe kostnaden for næringsbygget ikke er. Det er materialkostnadene og installasjonen av modulene som utgjør største andelen av prisen. [39]

Kostnader for et solcelleanlegg vil variere etter både type panel og totalt areal som skal installeres. Solcellespesialisten har estimert priser for paneler, vekselretter, montasjesystem, kabler og montering av anlegg på ulike takoverflater på fjøset på gården. Det er estimert kostnader for de tre ulike installasjonskombinasjonene på låvetaket, på låvetaket og det nye fjøstaket og til slutt på låvetaket, det nye fjøstaket og på garasjetaket nedenfor. Totalt estimert kostnad på anleggene er henholdsvis 221 571 kr, 442 366 kr og 536 800 kr [74]. Totale kostnadsestimat for aktuelle installasjoner er oppgitt i Vedlegg C.

9.3 Markedsmuligheter og statsintensiver

Hvor stor andel det er mulig å få i støtte er ofte, og skal ofte være avgjørende om ulike tiltak blir gjennomført. Det finnes flere ulike støttetiltak som kan være aktuelle å benytte seg av i sammenheng med både bruk av fornybar energi og energieffektiviseringsmetoder på gården.

9.3.1 Enova

Enova har flere ulike støtteprogram som skal tilrettelegge for miljøvennlige og energibesparende tiltak. Et generelt prinsipp for næringsprogrammene er at støtten skal være utløsende for at tiltaket skal bli gjennomført [75].

Et av støtteprogrammene heter «Eksisterende bygg». Dette gjelder for bygg i dag som innfører energireducerende tiltak i bygget, så fremt at det blir spart minst 10 % av det nåværende energiforbruket. Dersom den totale energibesparelsen blir på under 100 000 kWh/år vil det i søknaden bare kunne benyttes forhåndsdefinerte tiltak av Enova. Dersom det planlegges å iverksette tiltak som resulterer i en besparelse på minst 100 000 kWh/år, er det også mulig å søke om støtte til egendefinerte tiltak. Det må da dokumenteres for forventet energibesparelse. [75]

De forhåndsdefinerte tiltakene deles inn i atten energireducerende tiltak og åtte tiltak som omhandler varmesentraler, varmeproduksjon og/eller vannbåren varme [76]. På grunn av det installerte flisfyringsanlegget på gården, vil ikke tiltak som omhandler den sistnevnte kategorien være like aktuell for Kummen. Av de energireducerende tiltakene som er oppført av Enova er et utvalg som er aktuelle for gården vist i Tabell 9.4.

Tabell 9.4 Et utvalg av forhåndsdefinerte tiltak fra Enova, som kan være aktuelle for Kummen gård [76].

Nr.	Tiltak
1	Energioppfølgingssystem
2	Etterisolering av yttertak og/eller mot kaldt loft (låve)
3	Etterisolering av gulv og/eller etasjeskille
4	Etterisolering av yttervegger (m/tetting)
5	Utskifting av vinduer (m/tetting)
8	Termisk isolering av rør og deler i energisentral*
9	Ny utetemperaturregulering
12	Varmegjenvinning i ventilasjonsanlegg
13	Forbedring av SFP
14	Behovsstyring VAV
15	Lysstyring
16	Utskifting av armaturer
17	Sentral driftskontroll/SD-anlegg

*Forutsett at det ikke skal installeres ny energisentral.

Flere av de oppgitte tiltakene er både rimelige og enkle å gjennomføre, og krever ikke alt for mye planlegging. Det er for hvert tiltak definert et minstekrav, samt hva referanseinvesteringen skal være. Informasjon om dette til hvert tiltak finnes i Vedlegg D, i tillegg til de resterende tiltakene som ikke er nevnt her.

Det er også muligheter for å få støtte til produksjon av egen elektrisitet. Ved installasjon av solceller gis det 10 000 kr, og deretter gis det 1 250 kr for hver installerte kW. Dette er med en maksbegrensning på 15 kW, som gir en mulig totalstøtte på 28 750 kr. Et krav er at anlegget må være tilkoblet et strømnnett med en plusskundeavtale. [77]

9.3.2 Innovasjon Norge

Bioenergiprogrammet til Innovasjon Norge gir investeringsstøtte til landbruksaktører. I tillegg kan det gis støtte dersom et solcelle- eller solfangeranlegg inngår som en del av et fyringsanlegg. For er gårdsvarmeanlegg til næringsformål, kan det gis støtte med inntil 35 % og maksimalt 1 million kr [78].

9.3.3 Grønn framtid

Oppland fylkeskommune har etablert en tilskuddsordning for verdiskapning i fylket. Ordningen er todelt med mulighet for å søke om støtte til både idé- og prosjektutvikling. Det er satt av totalt 45 millioner kr i 2018 til private aktører og bedrifter i fylket. Ordningen har som mål å fremme bærekraftig verdiskapning og næringsutvikling.

Det gis støtte på inntil 250 000 kr ved søknad om idéutvikling. Søker skal ha 25 % i egenkapital, fordelt på penger og arbeidstimer, til utvikling av idéen, som skal være en løsning med miljøgevinst og ha kommersielt potensiale. I søknaden skal det redegjøres for positive miljøeffekter, målgruppe, behovet løsningen bygger på, kompetanse og egenkapital. For søknad om støtte til prosjektutvikling skal samme vurderingskriterier legges til. Her skal 30 % være egenkapital, der minst halvparten skal bestå av penger og resten kan være arbeidstimer.

Prosjektet skal bidra til lavere miljøbelastning og et redusert fotavtrykk sammenlignet med dagens situasjon. I dag er det tildelt støtte til flere ulike prosjekter rundt om i Oppland. Tildelingene gjelder ulike bedrifter innen blant annet energiproduksjon, honningproduksjon, resirkulering av mobiltelefoner og metallproduksjon. Energigården AS i Brandbu har fått tildelt støtte på 652 000 kr til prosjektet Grønn næringsutvikling, for å gjennomføre kartlegging og tiltak av utslippskutt i landbruksnæringen.

10 Metodikk

Relevant data og informasjon hentet inn under arbeid med tilhørende prosjektoppgave er benyttet for videre arbeid. Informasjon som omhandler fjøset på Kummen gård, samt våningshuset, er i stor grad hentet fra nåværende gårdbruker Tore Rune Kummen og tidligere driver av gården Ivar Kummen. Informasjon om bygningskonstruksjonen til fjøset er hentet fra flere ulike arkitekttegninger som er laget i sammenheng med påbygging på fjøset. I tillegg er det gjort fysiske målinger på bygget, på deler som ikke har vært inkludert i tegningene. Arkitekttegningene til fjøset er fra årene 1955, 1972 og 1999. Disse er henholdsvis tegnet av Oppland landbrukselskap, fylkesagronom i tekniske fag i Oppland og SEBB AS. I tillegg er det brukt plantegninger fra Fjøs-systemer Øst AS, som har flere tegninger over fjøset inkludert innredningen av avdelingene. Våningshuset ble tegnet av arkitekten Torbjørn Fjeldstad i 1957. Ut i fra disse tegningene er det hentet ut informasjon om bygningskonstruksjonen til bygget.

Materialer i vegg, tak, kjeller, samt informasjon om vinduer i fjøs og bygg er oppgitt av Ivar Kummen. På arkitekttegningene til Fjeldstad er det i tillegg oppgitt mye av materialene som er brukt flere steder i huset. Tekniske data om ulike materialer er hentet fra Byggforskserien fra SINTEF, datablader til komponenter og materialinformasjon fra programmet IDA-ICE.

Informasjon om nye energieffektive løsninger, fornybar energiproduksjon og prosjekter er i stor grad hentet fra forskningsartikler, Byggforskserien og prosjektrapporter. Referansenummeret er oppgitt inni den gjeldende setningen. Eventuelt plassert i slutten av avsnittet dersom den er brukt i flere setninger der.

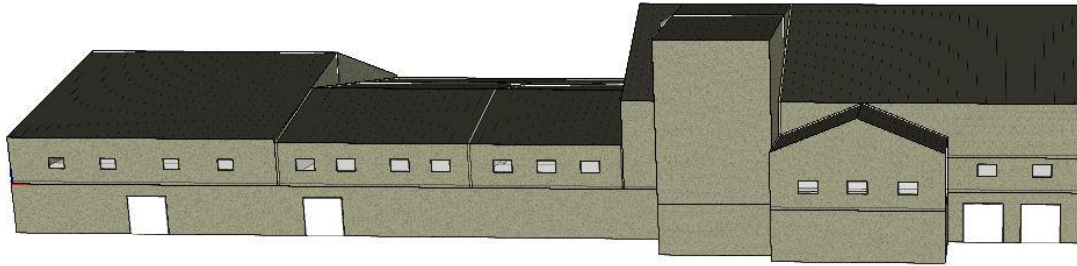
Simuleringsprogrammet IDA-ICE er benyttet for å lage en modell av et fjøs og et tilhørende våningshus. Ved å bygge opp en modell som simulerer realistiske resultater i samsvar med faktiske verdier, kan denne benyttes videre for å gjennomføre tiltak og forbedringer. Kalibrering av modellen er gjennomført ved å simulere modellen, for deretter å se etter avvik i sammenligninger på års, måneds og døgnbasis. Ved avvik i kalibreringsgrafene er det gjort endringer på modellene for å prøve å tilpasse den til sammenligningsverdiene. Denne prosessen er gjentatt til modellen er akseptabel. Kalibreringen er videre utdypet i kapittel 11.2.

Det er satt sammen ulike scenarioer eller pakker for modellen for å simulere ulike tiltak. Disse sammensetningene er delt inn i tre, der den første inneholder vanlige tiltak. De to andre fokuserer på å redusere oppvarmingsbehovet og det elektriske behovet. Alle de ulike scenarioene har blitt simulert med solcelleanlegg på ulike størrelser.

Ved analysing av simulerte resultater er det gjort kostnadsberegninger med nåverdimetoden, samt at scenarioene er satt opp i ulike kostnadsoptimale grafer. I tillegg er det beregnet ut i fra ZEB sine beregningsmetoder hvilke muligheter som finnes for oppnåelse av et ambisjonsnivå.

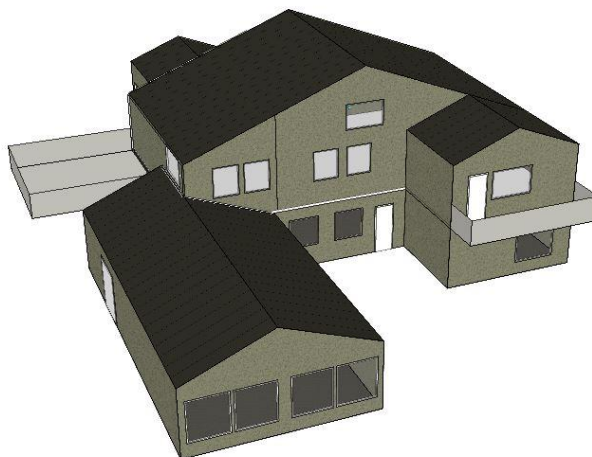
11 Modellering i IDA-ICE

Simuleringsprogrammet «IDA Indoor Climate and Energy» (IDA-ICE) er et simuleringsverktøy for bygningsytelse. Programmet modellerer bygninger og systemer for å sikre lavest mulig energiforbruk og best mulig brukerkomfort. IDA-ICE kan benyttes til å simulere termisk inneklima og energiforbruk i bygg, og har lokale værdata, standarder, produkt- og materialdata, rapporter og systemer for å tilpasse seg ulike lokasjoner i verden. For å kunne finne aktuelle energieffektive løsninger og fornybare energikilder er det valgt å simulere byggene på gården slik det er i dag. Dette innebærer å bruke verdier for systemene i drift, som virkningsgrader, installert effekt og interne laster.



Figur 11.1: Simuleringsmodell av fjøsset i IDA-ICE.

Fjøsset er i simuleringen inndelt i soner ettersom hvilken avdeling det er, og også da byggeår. Simuleringsmodellen fra programmet IDA-ICE er vist i Figur 11.1 og Figur 11.2, og viser henholdsvis fjøsset og våningshuset. For å modellere fjøsset og våningshuset i programmet er det først benyttet arkitekttegninger fra de ulike byggeperiodene. Målene fra tegningene, samt fysiske målinger der det har vært mangel på tegninger er brukt for å finne nødvendige avstander og høyder. Disse er deretter lagt inn i programmet, som har formet bygningskroppen slik den vises på figurene. Deretter er det lagt inn materialer i vegger, tak, gulv og etasjeskillere, samt vinduer og dører. Informasjon om materialene som er brukt i programmet er oppgitt i kapittel 11.1.2.



Figur 11.2: Simuleringsmodell av våningshuset i IDA-ICE.

11.1 Inndata i simuleringen

Inndata er verdiene som blir brukt i IDA-ICE for å simulere bygget etter realistiske forhold. For å kunne oppnå resultater fra simuleringen som kan benyttes videre blir det bestemt ulike faktorer som påvirker energibruken i byggene. Gården er plassert i Skjåk, men det finnes per dags dato ikke en datasamling for dette området. Derfor er det i simuleringen brukt lokasjonen Dombås, som ligger litt nord for Skjåk, men har lignende verdier. Dette er viktig når det gjelder temperaturer, vind, fuktighet, solinnstråling og nedbør. Følgende er alle faktorer som vil påvirke energibruken i bygget, med tanke på oppvarming og elektrisitetsbruk.

Det er lagt inn ventilasjonsanlegg bestående av naturlig ventilasjon i bolighuset, samt avtrekksvifter i de ulike avdelingene i fjøset. Viftene er lagt inn med oppgitt SFP av leverandørene og en virkningsgrad på 86 % [79]. I alle avdelinger i fjøset er det også lagt inn ventiler, med gjennomsnittlig åpning for tilførsel av friskluft. Avtrekksviftene er lagt inn som VAV-anlegg med temperaturregulering. I hver enkelt avdeling er det også lagt inn beregnet avtrekksluft i $L/(s \cdot m^2)$. Disse er beregnet ut i fra oppgitt luftmengde tilpasset antall griser og arealet i avdelingene.

Som oppvarmingssystem er det lagt inn et vannbårent system, som drives av flisfyringsanlegget med verdier for det installerte anlegget som er der i dag. Det er også lagt inn verdier for interne laster i fjøs og våningshus, der verdier er utregnet og vist i kapittel 11.1.1.

I alle avdelingene bortsett fra framfôringsavdeling II er det lagt vannbåren gulvvarme, på tilsvarende areal som i virkeligheten. Det er ikke lagt inn noen form for oppvarming i ganger, kjeller, silo og låve. For å anslå anvendelige verdier for varmeeffekten til radiatorene i bolighuset, ble det gjennomført en simulering med «ideal heater» plassert i etasjene for å finne oppvarmingsbehovet. Disse ble deretter erstattet med radiatorer med tilstrekkelig effekt.

11.1.1 Data for interne laster

Interne laster innebærer varmekilder i bygg, utenom varmeanlegget. Dette vil si; mennesker, dyr og tekniske installasjoner. I simuleringsprogrammet blir det lagt inn antall beboere i hver sone for å simulere varmeproduksjonen som blir produsert fra innsiden av bygget. For hver beboer kan det oppgis et aktivitetsnivå og i hvor stor grad påkledning er brukt. Aktivitetsnivået oppgis i MET, der 1 MET tilsvarer $58,2 \text{ W/m}^2$. Bekledningsnivået oppgis i clo, der 0 clo er det samme som ingen bekledning. I simuleringen blir det brukt at grisene har 0 clo. For å regne ut hvor mye varme som produseres fra en gris, må det derfor tas i betraktning hvor mye Watt en gris produserer, samt at overflatearealet må regnes ut. Dette vil da bli ulikt for ulike vektklasser, og da i ulike avdelinger i fjøset.

Grisen har en kjernetemperatur på ca. $39 \text{ }^\circ\text{C}$, som er to grader mer enn et menneske [18]. Det er derfor naturlig å anta at varmeproduksjonen fra griser vil være noe høyere enn fra mennesker som ligger på 100 W [16]. Dette er et gjennomsnittlig tall for mennesker som beveger seg i hjemmet, sitter i klasserom eller gjør kontorarbeid. I Tabell 11.1 er det oppgitt varmeproduksjonen fra griser i ulike vektklasser. Varmeproduksjonen varierer noe fra sommer

til vinter, men i simulering i IDA-ICE blir det brukt et gjennomsnitt for året, samt interpolering for å finne verdier til de ulike vektclassene.

Tabell 11.1: Varmeproduksjon fra griser, i vinter- og sommerhalvåret, fordelt i vektclasser [80].

	Vekt [kg]	Varmeproduksjon vinter [W]	Varmeproduksjon sommer [W]
Smågris	10	61	58
Smågris	30	125	120
Ungpurker	60	190	180
Ungpurker	100	255	245
Drektig purke	200	275	260
Lakterende purke	200	320	305
Drektig purke	250	435	420
Lakterende purke	250	485	465

For å regne ut varmeproduksjonen per overflateareal til en gris, må overflatearealet for de ulike vektclassene finnes. Dette kan regnes ut med formelen «Meeh» som er oppgitt i Ligning 11.1 [81]:

$$A = K \cdot m^{\frac{2}{3}} \cdot 10^{-4} \quad (11.1)$$

der A er overflatearealet i m², m er masse i g og K er Meeh-konstanten som varierer med hvilken art det ses på, og med alderen på dyret. En gjennomsnittlig verdi for griser er K=9 [82]. Gjennomsnittsvekten til grisene i de ulike avdelingene er brukt i Meeh-formelen for å finne kroppsoverflatearealet. Deretter er de oppgitte varmeproduksjonstallene for ulike vektclasser delt på arealet, for å få varmeutslippet per gris i W/m². Disse tallene, samt den omregnede verdien i MET som blir brukt i simuleringsprogrammet, er oppgitt i Tabell 11.2.

Tabell 11.2: Varmeproduksjon oppgitt i MET, i de ulike avdelingene i fjøset. Verdiene for grisungene på de to fødeavdelingene er oppgitt i parentes.

Avdeling	Antall	Vekt [kg]	Varme- produksjon [W]	Totalt aktivitetsnivå per gris [W/m ²]	MET per gris
Fødeavdeling	16 (192)	250 (6)	451,25 (15)	126,34 (50,48)	2,17 (0,87)
Lille fødeavdeling	5 (60)	250 (6)	451,25 (15)	126,34 (50,48)	2,17 (0,87)
Smågrisavdeling	240	21	94,15	137,44	2,36
Framfôringsavdeling I	150	50	164,17	134,40	2,31
Framfôringsavdeling II	135	100	250,00	128,93	2,22
Bedekningsavdeling	58	190	370,75	124,64	2,14
Gjeldpurkeavdeling	70	190	370,75	124,64	2,14

I hver avdeling blir det satt inn en type gris, der det velges når de er tilstede, hvilken MET som produserer og hvor mange det er av hver gris. I alle avdelingene med unntak av fødeavdelingene er det alltid griser tilstede. Likevel er det bare maksimalt to dager sju ganger i året at det står tomt, det er derfor valgt å simulere bygget med at grisene alltid er tilstede også i disse avdelingene.

I kjelleren i våningshuset er det simulert med to personer med en MET-verdi på 1, og CLO på mellom 0,6 og 1,1. De samme verdiene er valgt for fire personer som er plasserte i første etasje på huset.

I våningshuset er det satt inn belysning tilsvarende den i dag. Det er lagt inn lysrør i alle aktuelle rom i fjøset, med en effekt på 36 W eller 58 W, og et antall tilsvarende dagens belysning. Det er også lagt inn en dagsplan for når lysene i avdelingene i fjøset er slått på, og en annen tilpasset dagsplan for lysene i våningshuset. Disse timeplanene er dagsregulerte, og ikke årsregulerte. I tillegg er det lagt inn teknisk utstyr i bolighuset, som tilsvarende datamaskiner, tv, hvitevarer og annet utstyr i bruk. I fjøset er det lagt inn teknisk utstyr på kontoret, samt i flisfyringsrommet.

I tilknytning til svømmebassenget i våningshuset er det satt inn fire ulike pumper. Disse har ansvaret for å pumpe luftsirkulasjonen, sirkulere vannet og pumpe varmtvann. De er lagt inn med en effekt på 44 W, 55 W, 740 W og 2 kW. De to sistnevnte er henholdsvis sirkulasjonspumpen for vannet og for luften, og kjøres kontinuerlig.

I garasjen på fjøset er det også satt inn teknisk utstyr med verdier for fôringsanlegget i fjøset. Dette inkluderer ei sirkulasjonspumpe på 2,2 kW, tre rørpumper på 1,5 kW, mysepumpe på 1,025 kW og to kraftfôrsruer på 0,75 kW. Følgende interne laster er lagt inn med en tidsplan tilpasset virkelig bruk. Det er i tillegg lagt inn verdier for en kompressor på 2,2 kW, som også er plassert i kjelleren i fjøset.

Omrøringspumpa for husdyrgjødsel er lagt inn med en effekt på 18,1 kW og en driftsplan på 15 timer i året. Disse er fordelt med sju timer i april, fire timer i juni og fire timer i august. For tilførsel av flis er det to motorer som benyttes med en effekt på 5 kW hver. Disse er lagt til med en driftsplan tilpasset bruken gjennom året, med et høyere forbruk om vinteren når det er et økt behov for fyring. Høy- og korntørke er lagt inn med en installert effekt på 15 kW, og en bruksperiode på 100 timer i året fordelt på månedene juni og september.

Høytrykksspyleren blir brukt i ulik grad i de ulike avdelingene i fjøset. Det er i programmet lagt inn en plan tilsvarende virkelig bruk. I fødeavdelingen vaskes det hver sjuende uke i åtte timer, i smågrisavdelingen vaskes det tre ganger i året i tolv timer, i den lille fødeavdelingen tre ganger i året i tre timer og i de resterende avdelingene en gang i året fordelt på ca. 50 timer. I tillegg regnes det med at det blir brukt ca. ti timer i året på vasking av bil og traktor, som legges inn på sommerstid. Spyleren er lagt inn med en effekt på 4,1 kW.

11.1.2 Data for bygningsmateriell

Når materialene i vegger, tak og gulv legges inn må det bestemmes verdier for tetthet, spesifikk varmekapasitet og termisk konduktivitet. De benyttede verdiene i programmet er oppgitt i Tabell 11.3. I tillegg legges tykkelsen inn, slik at IDA-ICE kan regne ut U-verdiene i bygget. Tettheten og den termiske konduktiviteten for materialene er funnet ved hjelp av SINTEF sin byggforskserie, EPDer og datablader fra leverandører. Den spesifikke varmekapasiteten er valgt på grunnlag av materialer som ligger inne som standard i simuleringsprogrammet. Det er i veggene og taket gjort en forenkling ved valg av brukte verdier, da det ikke er tatt hensyn til stendere som vil være i samme lag som isoleringen. I Vedlegg A og B er alle sjiktene satt sammen med ulike tykkelser og verdier, for alle vegger, tak og gulv i begge bygg.

Tabell 11.3: Inndata for materialer i vegg og gulv, i fjøs og bolighus.

Materiale	Tetthet [kg/m ³]	Spesifikk varmekapasitet [J/(kg·K)]	Termisk konduktivitet, λ [W/m·K]
Innvendig Steniplater [83, 84]	1 900	1 000	0,55
Mineralull [85]	16,5	750	0,034
Blåseull [86]	17,5	750	0,043
Utvendig trekledning, panel [87]	600	2 300	0,12
Betong [88]	2 400	880	2
Luft [88]	1,2	1 000	0,024
Eksperandert polystyren (EPS) [89]	30	800	0,064
Innvendig trekledning, panel [87]	500	2 300	0,13
Papp (diffusjonstett) [87]	600	800	0,33
Teglstein [90]	2 150	900	0,62
Plast [91]	0,06	800	0,005
Lekakuler [92]	245	750	0,11
Stålplater [87]	7 800	460	50
Takplater [88]	1 500	840	0,58
Lecablokker [87]	1 000	750	0,38

Vinduene i fjøs og våningshus er lagt inn med en U-verdi på 2,7 W/m²K [7]. Denne verdien gjelder bare for selve ruten i vinduet, og er lik for alle installerte vinduer i byggene. Verdier for dører og garasjeåpninger i byggene er hentet fra standarden i programmet.

11.2 Kalibrering av modellen

Ved kalibrering av modellen med reelle verdier er det et mål å få modellen i IDA-ICE til å bli mest mulig nøyaktig. Slik kan den videre benyttes til å simulere aktuelle og planlagte oppgraderinger av bygget. Elektrisitetsforbruket gjennom året er i dag svært ujevnt, med topper som oppstår på ulike tider til ulike år. På grunn av oppvarmingsløsningen på gården, vil elektrisitetsforbruket i mindre grad være værpåvirket, noe som gjør at det ikke er like aktuelt å benytte en klimafil for kalibreringen. Det er derfor valgt å kalibrere simuleringen med det gjennomsnittlige elektrisitetsforbruket gjennom et år. Gjennomsnittet er basert på elektrisitetsforbruket for gården fra og med år 2012 til og med år 2017. Det simulerte året er basert på en standard klimafil for et tenkt år lokalisert på Dombås. For å kvalitetssikre modellen

er det også sett på sammenligningen av forbruket per time gjennom et døgn. Det er her brukt målte data for en dag og simulert med en klimafil for nøyaktig samme dag og år.

I tillegg til sammenligningsgrafer benyttes det regresjonsanalyse med lineær regresjon for å avgjøre om modellen er akseptabel for videre arbeid. Simulerte verdier og målte verdier plottes inn i en punktgraf, for deretter å lage en trendlinje eller regresjonslinje. Regresjonslinjen viser en R^2 -verdi og en førstegradsligning. R^2 forteller andelen av variasjon av modellen, og er lik korrelasjonen opphøyd i andre potens [93]. Korrelasjonen viser i hvor stor grad verdiene har sammenheng med hverandre, og er et tall mellom -1 og 1. Det regnes med at korrelasjonen er sterk dersom verdien er nærme 1. Dersom tallet er over 0,7 regnes korrelasjonen som svært sterk [94]. En korrelasjon lik 0,7 vil si at 49 % av variasjonen kan forklares ved en lineær sammenheng. I førstegradsligningen er det ønskelig å oppnå et stigningstall så nærme 1 som mulig, og et skjæringspunkt så nærme 0 som mulig.

For å kalibrere oppvarmingsbehovet er det valgt å benytte en klimafil. På grunn av at det bare finnes informasjon for oppvarmingsforbruket for årene 2016 og 2017 er det bare disse som kan være aktuelle å benytte for kalibrering. Klimafilen for et valgt år med koordinatene til gården er hentet fra nettstedet til det svenske prosjektet Shiny Weather Data [95]. Det finnes i dag ennå ikke fullstendig tilgjengelig klimadata for året 2017. Videre er det derfor året 2016 som er benyttet for kalibrering. Klimafilen er lastet ned for å være tilpasset til IDA-ICE, og erstatter klimafilen som er valgt i programmet fra før. Videre blir det simulerte resultatet sammenlignet med reelle temperaturer fra det valgte året, og oppvarmingsforbruket gjennom året.

11.3 Produksjon fra solcellepanel

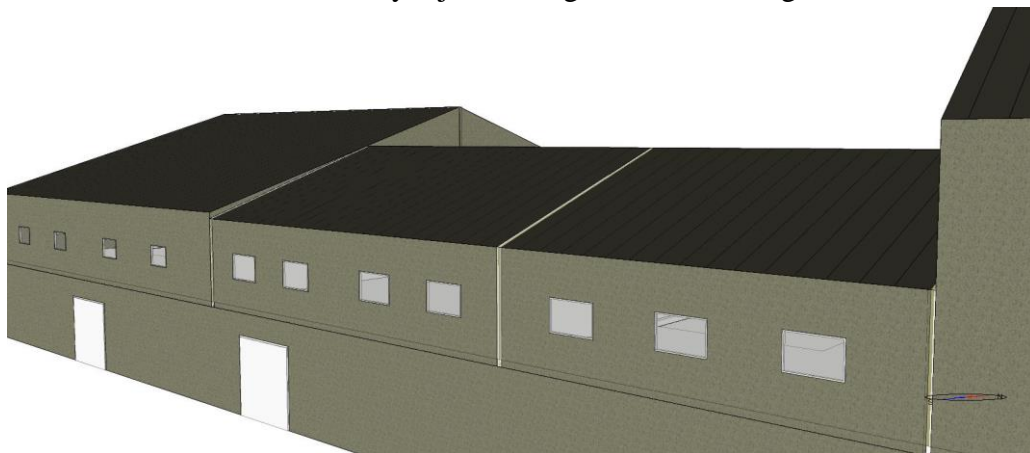
Det finnes flere ulike overflater på gården som kan utnyttes til areal for solcellepanel. Fjøssets tak kan deles inn i tre ulike overflater, med ulik størrelse og vinkler. Det vil derfor være ulik produksjon fra de forskjellige områdene. For å beskrive de ulike takoverflatene brukes følgende navn; låvetaket, gamle fjøstaket og nye fjøstaket. I tillegg kan takarealet på garasjen nedenfor fjøset benyttes. Alle de nevnte takene er vinklet mot sør. De ulike vinklene, arealene samt teoretisk potensiell produksjon og simulert produksjon er vist i Tabell 11.4. Det er ved disse beregningene benyttet en virkningsgrad på 20 %. Ved den teoretiske beregningen er det benyttet årlig solinnstråling på gården, ved de aktuelle vinklene [41]. Det antas videre at 90 % av det totale takarealet kan benyttes som solcelleareal. IDA-ICE er benyttet for å simulere årsproduksjonen til de ulike solcelleinstallasjonene. For å simulere produksjonen til de ulike feltene med solcellepanel er det kjørt fire ulike simuleringer for hver av de.

Tabell 11.4: Potensiell produksjon i kWh i året for ulike takoverflater på gården.

	Planvinkel	Takareal [m ²]	Teoretisk produksjon [kWh/år]	Simulert produksjon [kWh/år]
Låvetaket	36,7°	159,8	25 978,4	31 600,0
Gamle fjøstaket	19,3°	149,5	24 094,4	25 819,7
Nye fjøstaket	17,7°	201,8	32 355,2	36 611,4
Garasjetaket	22,1°	99,7	16 172,6	19 424,2
Totalt		610,8	98 600,6	113 455,3

Den totale potensielle produksjonen er høyere ved simuleringen i IDA-ICE, enn teoretisk beregnet. Den største forskjellen er produksjonen på låvetaket, der forskjellen fra teoretisk beregnet og simulert produksjon er på 5 621,6 kWh/år. Forskjellen i den totale produksjonen er på 14 854,7 kWh/år.

På grunn av at det gamle fjøstaket ligger noe lavere i høyde enn takene på siden, er denne overflaten mindre utsatt for vind. Dette fører til at det lettere legger seg snø på dette taket, til tross for at det ikke har den laveste vinkelen. Figur 11.3 viser hvordan fjøstaket er utformet i IDA-ICE. Til venstre i bildet er det nye fjøstaket og i midten er det gamle.



Figur 11.3: Fjøsets takvinkel, på modellen i IDA-ICE.

12 Scenarier for analyse

For at det skal være mulig å oppnå ZEB er det viktig å se på hvilke tiltak som kan iverksettes for at energibehovet enklest mulig kan dekket av fornybare energikilder. I tillegg må det tas hensyn til det økonomiske, da ulike tiltak vil føre til ulike besparelser og utgifter. Ved å simulere ulike scenarier i ICA-ICE med forskjellige tiltak som er aktuelle for Kummen gård, kan det videre ses på hvilke resultater som kan gås videre med. De ulike scenarioene kan settes opp mot hverandre for å sammenligne økonomien og hvilke mål innenfor ZEB som kan oppnås.

Scenariene vil være tre ulike caser som blir simulert og sammenlignet. De tre ulike tiltakspakkene er vist i Tabell 12.1, med tilhørende tiltak og aktuell energiforsyning. Det er valgt å se på kombinasjonen av et solcelleanlegg på ulik størrelse sammen med det eksisterende flisfyringsanlegget. På grunn av dagens utgangspunkt anses dette som potensielle løsninger. Panelene er plassert på de tilgjengelige takoverflatene på gården, med unntak av det gamle fjøstaket. Dette er på grunn av at det er en større sannsynlighet for at det legger seg snø her i vinterhalvåret på grunn av skjerming for vinden fra byggene ved siden av.

Tabell 12.1: Tiltakspakker for de ulike casene, med tilhørende energiforsyning.

	Tiltak	Energiforsyning
Case 1	Utskifting av vindu	Solcellepanel (Låvetak og nye fjøstak)
	Tetting av luftlekkasje	Flisfyring
	LED-belysning (Prima/Glamox)	
Case 2	Utskifting av vindu	Solcellepanel (Låvetak)
	Utskifting av dører	Flisfyring
	Etterisolering tak	
	Etterisolering vegg	
	Reduksjon av kuldebroer	
Case 3	Tetting av luftlekkasje	
	LED-belysning (Prima)	Solcellepanel (Låvetak, nye fjøstak og garasjetak)
	Forbedret lysstyring	Flisfyring
	Reduksjon av brukstid i svømmebasseng*	

*Kjører en egen simulering med redusert brukstid basseng.

De ulike tiltakene går på å redusere oppvarmingsbehovet, ved hjelp av bedre isolering og tetting av luftlekkasjer. I tillegg er det valgt å se på tiltak som reduserer elektrisitetsbehovet ved å oppgradere belysningsanlegget. Ved å gjøre tiltak som gjør at oppvarmingsbehovet blir mindre vil elektrisitetsbehovet til flisfyringskjelen reduseres. Dette vil føre til at det blir et noe redusert elektrisitetsbehov. I tillegg vil et redusert oppvarmingsbehov føre til et redusert behov for flis, noe som vil gjøre at kostnadene tilknyttet flisinnkjøpene vil bli lavere. Det er ikke valgt å se på tiltaket med varmegjenvinning i ventilasjonsanlegg, da dette i praksis vil være vanskelig å utføre slik det tekniske er planlagt i bygget i dag.

12.1 Case 1: Konvensjonelle tiltak

I følgende scenario skal det gjøres ulike tiltak på bygget som å skifte ut dagens vinduer, tetting av luftlekkasjer i bygget i tillegg til at belysningen skal byttes ut med LED. Denne casen gjennomfører få, enkle og konvensjonelle tiltak. For å sammenligne de to typene LED-belysning deles casen inn i to, der de to ulike merkene blir brukt. De to leverandørene har oppgitt ulike alternativer til å erstatte dagens belysning i tillegg til at de også har oppgitt ulike kostnadsestimater. Dette gjør det derfor aktuelt å simulere de to ulike utskiftingene for å sammenligne energibesparelser, i tillegg til kostnader.

Vinduene erstattes med tolags vinduer uten åpningsramme. Disse settes til en U-verdi på $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ som er passivhuskravet til TEK17 [28], og utgjør en forskjell på $1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ fra eksisterende. Luftlekkasjen bidrar til at oppvarmingsbehovet øker, men samtidig at det kan være nødvendig med økt bruk av avtrekksviftene. Luftlekkasjetallet til simuleringsmodellen reduseres i casen med 0,5 ACH eller luftutskiftninger per time.

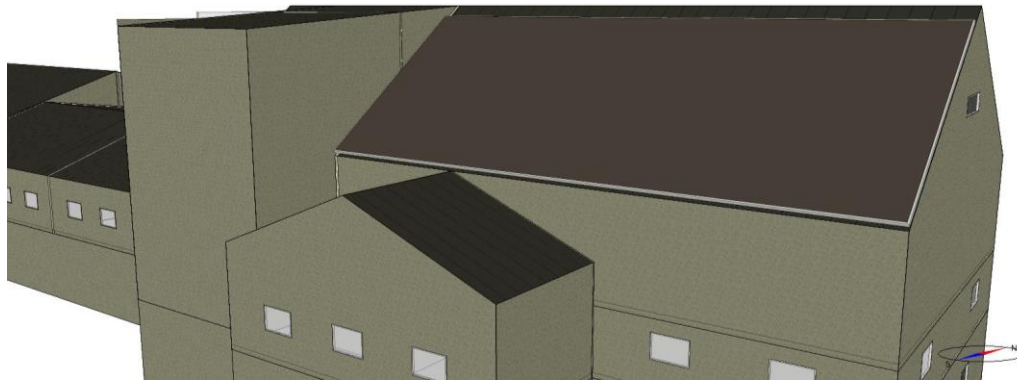
Ved utskifting av belysningen erstattes nåværende lysrør med LED-armaturer. Fra leverandører er det oppgitt ulike typer som kan erstatte dagens belysning. Ved installasjon av Glamox LED-armaturer vil det være en totaleffekt på $1\,622 \text{ W}$ i fjøset [73], og med Prima sine blir det $2\,204 \text{ W}$ [72]. Henholdsvis en reduksjon på $2\,040 \text{ W}$ og $1\,458 \text{ W}$, fra nåværende verdi.

Deler av det elektriske behovet skal dekkes av solcellepanel, og vil i dette tilfellet plasseres på låvetaket og det nye fjøstaket. Ved installasjon på låvetaket må det eksisterende taket byttes ut, da takplatene ikke vil tåle vekten av panelene. Det blir derfor sett på muligheten for å benytte integrerte solcellepanel i taket her. Det er ikke mulig å simulere flere felt med solcellepanel i ulik størrelse og vinkel i IDA-ICE. Det er derfor valgt å simulere ett sammenhengende felt med solcellepanel i en gjennomsnittlig vinkel basert på de ulike arealene, for at den totale produksjonen skal tilsvare de to feltene. Dette gjøres ved at de aktuelle feltene simuleres hver for seg for så å lage ett sammenhengende felt nedenfor som tilsvare totalproduksjonen.

12.2 Case 2: Reduksjon av oppvarmingsbehov

Tiltakene i den andre casen baserer seg på tetting av bygget og reduksjon av oppvarmingsbehovet. Som i den første casen settes U-verdiene til vinduene til $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, og luftlekkasjetallet reduseres med 0,5 ACH. I tillegg skiftes dørene ut til TEK17 sine krav med en U-verdi på $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, samt at det blir lagt til etterisolering i vegg og tak i fjøset. Etterisoleringen innebærer her at det blir lagt til 150 mm mineralull utvendig på vegger, samt 50 mm mineralull på innsiden av taket i fjøset. Følgende gjelder bare for veggene med trepanel, og ikke i betong. I tillegg reduseres kuldebroverdiene med 20 %.

Energibehovet vil bli dekt av det eksisterende flisfyringsanlegget som er installert, solcellepanel plassert på låvetaket og elektrisitet kjøpt fra nettet. På grunn av at det er mange tiltak som gjennomføres i følgende scenario er det valgt å bare installere solcellepanel på låvetaket for å redusere kostnader. Solcelleanlegget er illustrert i Figur 12.1, på den simulerte modellen i IDA-ICE.



Figur 12.1: Solcellepanel installert på låvetaket i IDA-ICE.

12.3 Case 3: Reduksjon av elektrisk behov

I den tredje casen er det satt fokus på å redusere strømforbruket som går til belysningen i fjøset. Det er derfor satt inn LED-belysning i fjøset, samt at lysstyringen er forbedret for å redusere brukstiden. Utskiftingen til LED er utført med typen fra Prima, på tilsvarende måte som i den første casen i kapittel 12.1. Det er et potensiale for å redusere belysningstiden i de tre avdelingene framføringsavdeling I, framføringsavdeling II og gjeldpurkeavdelingen. Her kan brukstiden settes ned til halvparten av dagens timer, noe som innebærer en reduksjon i belysningstid på tre timer. I de resterende avdelingene, foruten bedekningsavdelingen kan belysningstiden reduseres med en time.

Solcellepanel vil bli installert på låvetaket, garasjetaket og taket på den nye fjøsdelen. Disse tre feltene er simulert hver for seg, for deretter å bli simulert som ett samlet felt for å tilsvare totalproduksjonen.

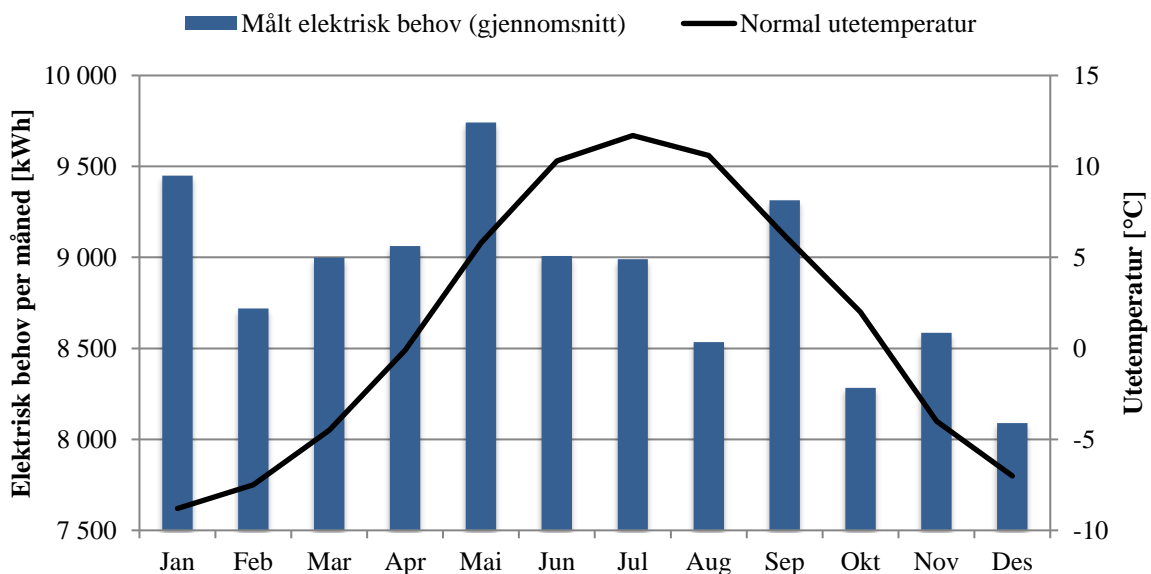
Ved å redusere brukstiden til svømmebassenget kan det være mulig å redusere strømforbruket gjennom året. Det vil derfor bli simulert en andre versjon av casen, Case 3B, for å se potensialet her. På grunn av at det er et tiltak som vil gjelde bare for bygninger med tilhørende basseng, vil scenarioet ikke bli satt opp som en egen hovedcase. Brukstiden vil reduseres ved at bassenget tømmes for vann fra og med september til og med april, i totalt åtte måneder.

13 Resultater

Ved evaluering av resultatene er det viktig å inkludere bakgrunnsinformasjonen, og hvordan dette er samlet inn. Valgte scenarier blir vurdert ut ifra kostnadsberegninger, energibesparelser og miljøbelastning.

13.1 Innsamlede måledata

For å vurdere de innsamlede målte dataene som brukes til kalibrering av modellen kan det gjennomsnittlige målte elektriske forbruket sammenlignes med månedlig normal utetemperatur, som vist i Figur 13.1. Søylene i diagrammet viser totalt elektrisk behov for hver måned, beregnet ut ifra gjennomsnittlig målt forbruk de seks siste årene [13]. Linjen viser normal utetemperatur målt i Skjåk [38]. Med unntak av månedene med høyest elektrisk behov kan det ses en sammenheng mellom utetemperaturen og forbruket. Av det elektriske behovet er det avtrekksviftene og flisfyringskjelen som er temperaturregulert. Avtrekksviftene trekker i størst grad om sommeren når det blir fortere varmt inne i avdelingene hos dyrene. Flisfyringskjelen vil kjøres i større grad på vinterstid når det er behov for oppvarming i fjøs og hus. Da disse er motsetninger til hverandre vil det bidra til et noe jevnere elektrisitetsforbruk i fjøset.

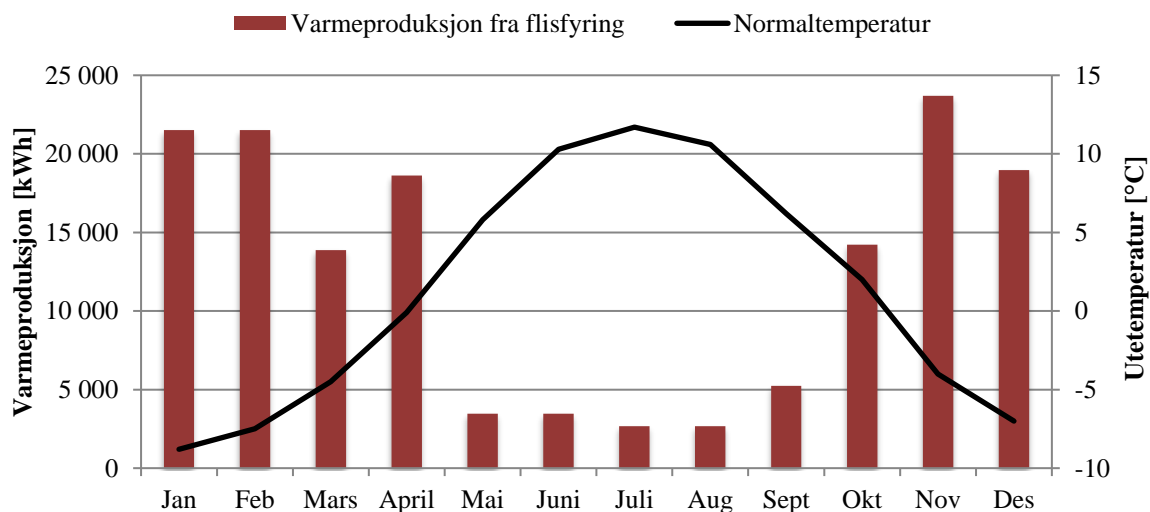


Figur 13.1: Gjennomsnittlig målt elektrisk behov i kWh per måned og normal utetemperatur gjennom året.

De månedene med høyest energiforbruk er januar, mai og september. Normaltemperaturen viser at den kaldeste måneden i året er januar, noe som kan forklare det høye energiforbruket denne måneden. Flisfyringsanlegget er trolig mest i bruk på denne tiden, i tillegg til at det kan være tider det er nødvendig med tilleggsoppvarming, i form av elektriske varmeovner. I mai er elektrisitetsbehovet gjennom de siste årene høyest i løpet av året. En grunn til at dette behovet forekommer her kan være på grunn av temperaturendringen som skjer fra vinter til sommer. Om natten kan temperaturen være relativt lav som gjør det nødvendig med flisfyring. På samme tid kan solen i stor grad være tilstede om dagen og påvirke oppvarming av bygget, noe som gjør at det kan være nødvendig med tilstrekkelig ventilasjon på dagtid. De samme faktorene kan

også gjelde for september, i tillegg til at det er på denne tiden korntørken kjøres. Noe som tilsier at elektrisitetsforbruket til utstyr vil være noe høyere her.

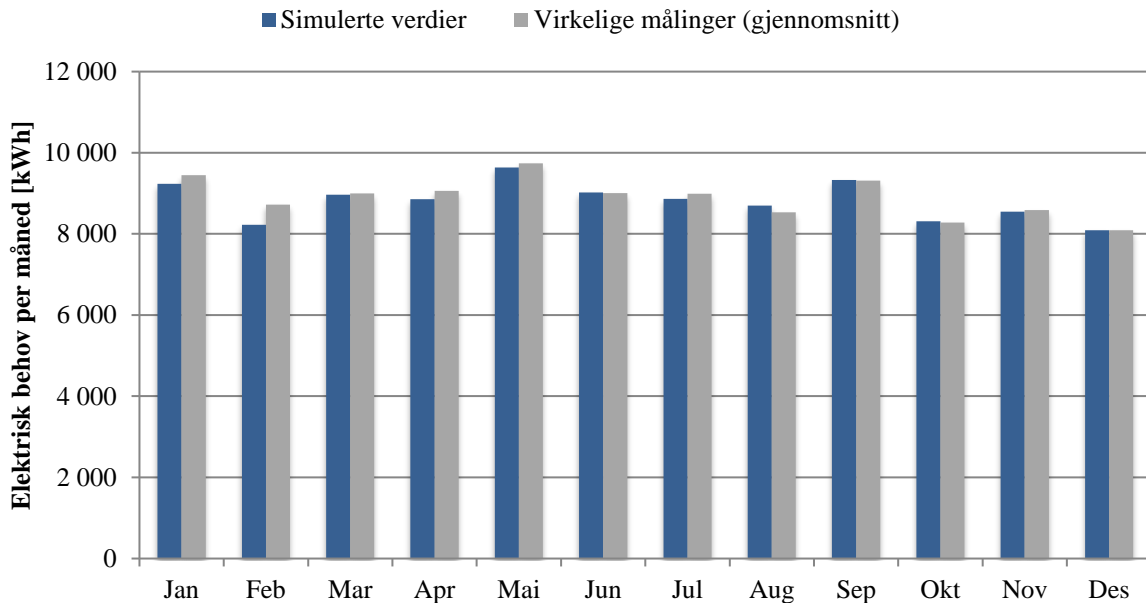
For å undersøke hvor realistiske de innsamlede dataene for oppvarmingsforbruket er, er det beregnede gjennomsnittlige månedsforbruket sammenlignet med normaltemperaturen for hver måned. Følgende er vist i Figur 13.2. Varmeproduksjonen for hver måned er beregnet etter flisinnkjøpene for de ulike månedene, for de to årene 2016 og 2017. Det er antatt at betalingsdatoen er ca. en måned etter henting av flis. Følgende år er de eneste som det har en fullstendig oversikt over forbruket av flis til fyringsanlegget, noe som gjør at resultatene kan være noe usikre. I tillegg er forbruket beregnet etter innkjøpt flis i månedene, noe som ikke viser til hvor mye flis som til enhver tid blir benyttet eller når flisfyringen foregår nøyaktig. Likevel kan det ut i fra grafen ses at innkjøpet av flis har en sammenheng med utetemperatur, ut i fra variasjonene gjennom året. Det er derfor mulig å kunne benytte de innsamlede dataene som sammenligningsgrunnlag for videre simuleringer av modellen i IDA-ICE.



Figur 13.2: Varmeproduksjon fra flisfyringsanlegget i kWh per måned, sammenlignet med normal utetemperatur i måneden.

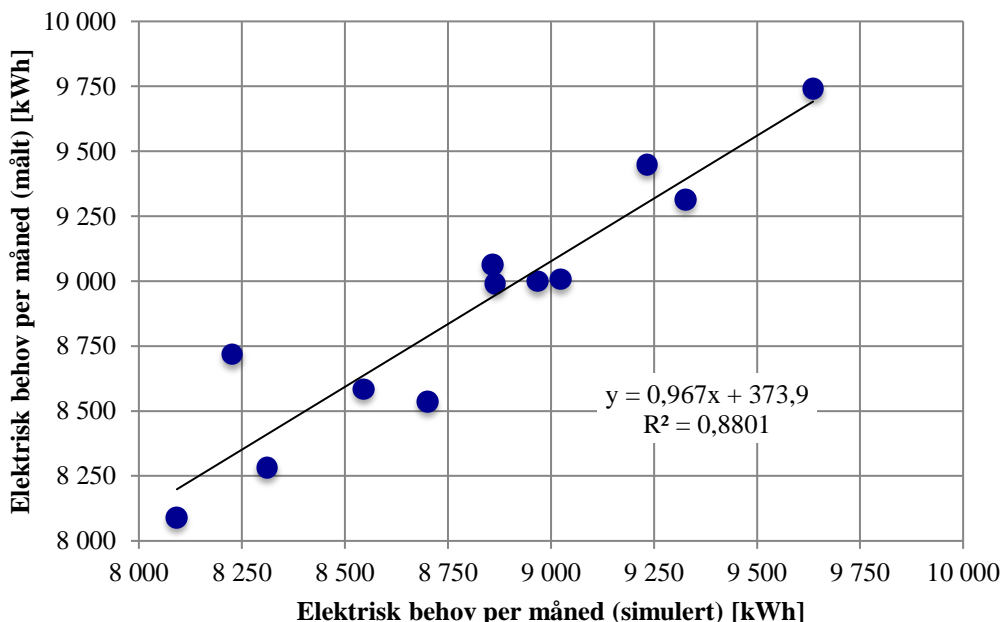
13.2 Kalibrering i IDA-ICE

I kalibreringen av elektrisitetsbehovet er det valgt å se på månedsforbruket gjennom året. Det er valgt å benytte gjennomsnittlige målinger i stedet for et spesifikt år for kalibreringen av det elektriske forbruket. Det gjennomsnittlige strømforbruket for hver måned gjennom året er vist i Figur 13.3, sammen med det simulerte resultatet. Det kan ses ut i fra grafen at de simulerte verdiene er noe lavere i vinter- og vårhalvåret, og noe høyere i de resterende månedene. Totalt simulert årsforbruk er på 106 903 kWh, noe som utgjør en differanse på 127 kWh fra gjennomsnittlig elektrisk årsforbruk.



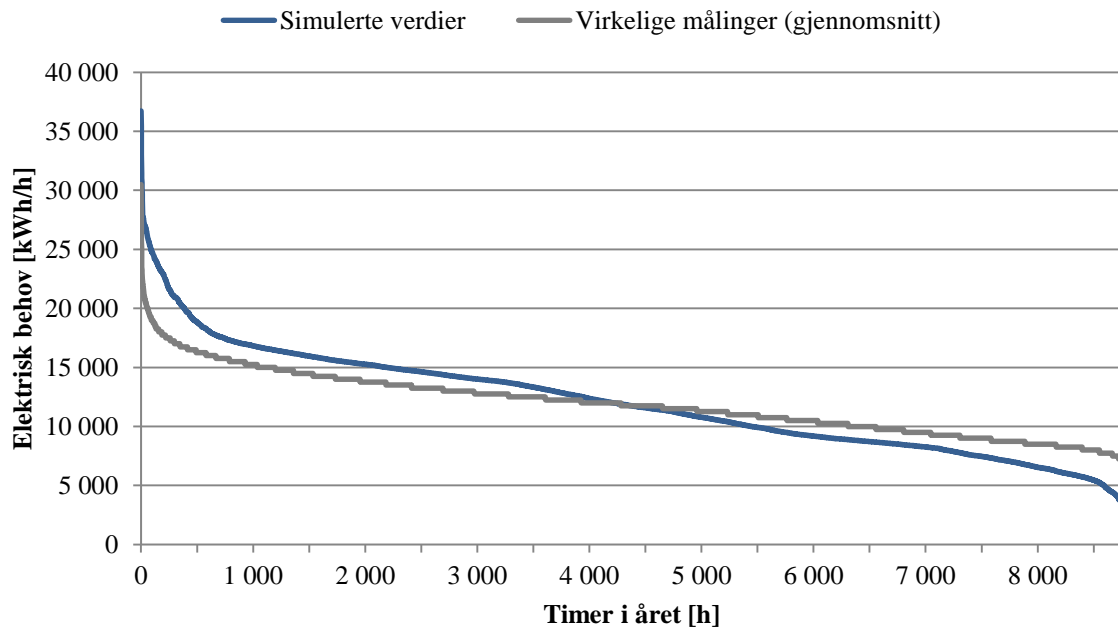
Figur 13.3: Kalibrering med simulerte og virkelige verdier i månedsforbruk.

For å kvalitetssikre kalibreringen settes simuleringensverdier opp mot de målte verdiene i Figur 13.4, ved å utføre regresjonsanalyse. Verdien for R^2 beskriver hvordan de to verdiene varierer med hverandre. Etter kalibreringen er det oppnådd en R^2 -verdi på 0,88, noe som tilsvarer en korrelasjon lik 0,94. Dette viser til en svært sterk korrelasjon mellom de målte og simulerte verdiene, og at 88,4 % av variasjonen kan forklares ved lineær sammenheng. Funksjonsuttrykket y viser til et stigningstall og et skjæringspunkt som er akseptabelt for modellen.



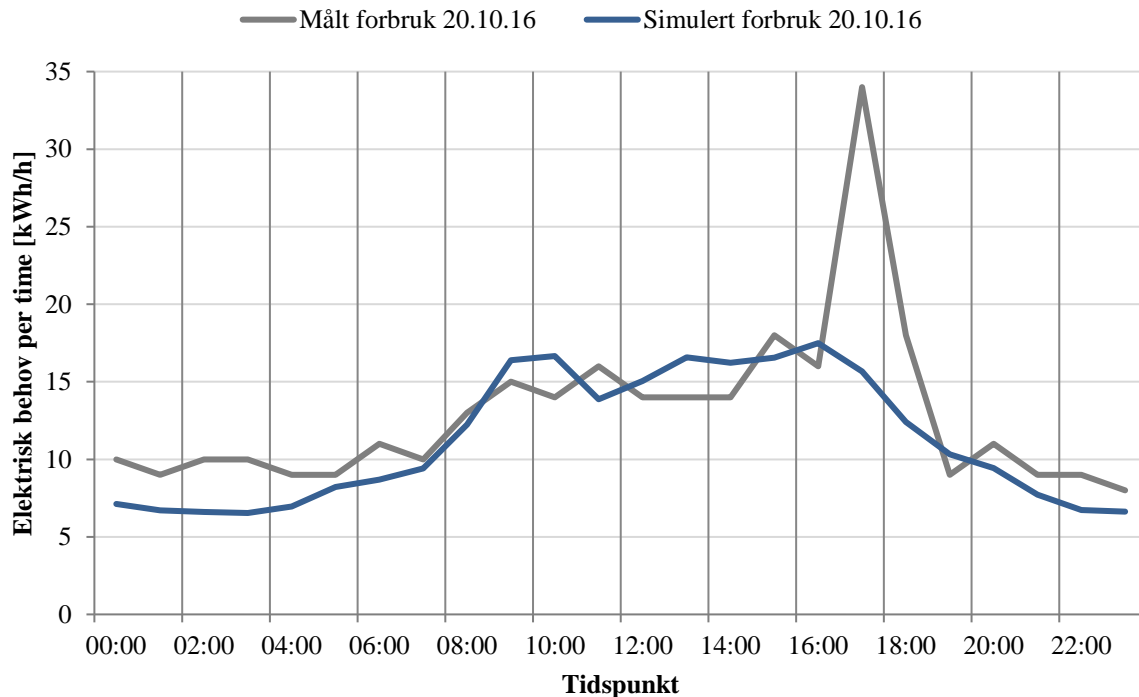
Figur 13.4: Kalibrering i punktgraf med simulert og gjennomsnittlig målt elektrisk behov per måned.

Figur 13.5 viser varighetskurvene for et simulert årsforbruk og et gjennomsnittlig årsforbruk. Ut ifra grafen kan det ses at det totale elektriske behovet vil være veldig likt i de to ulike scenarioene. Likevel har det simulerte behovet både flere høyere og lavere topper gjennom året. Dette kommer av at topper og bunner vil oppstå på ulike tider, siden de virkelige verdiene er basert på et utregnet gjennomsnitt for flere ulike år. Derfor vil ikke avvikene skje på samme tid.



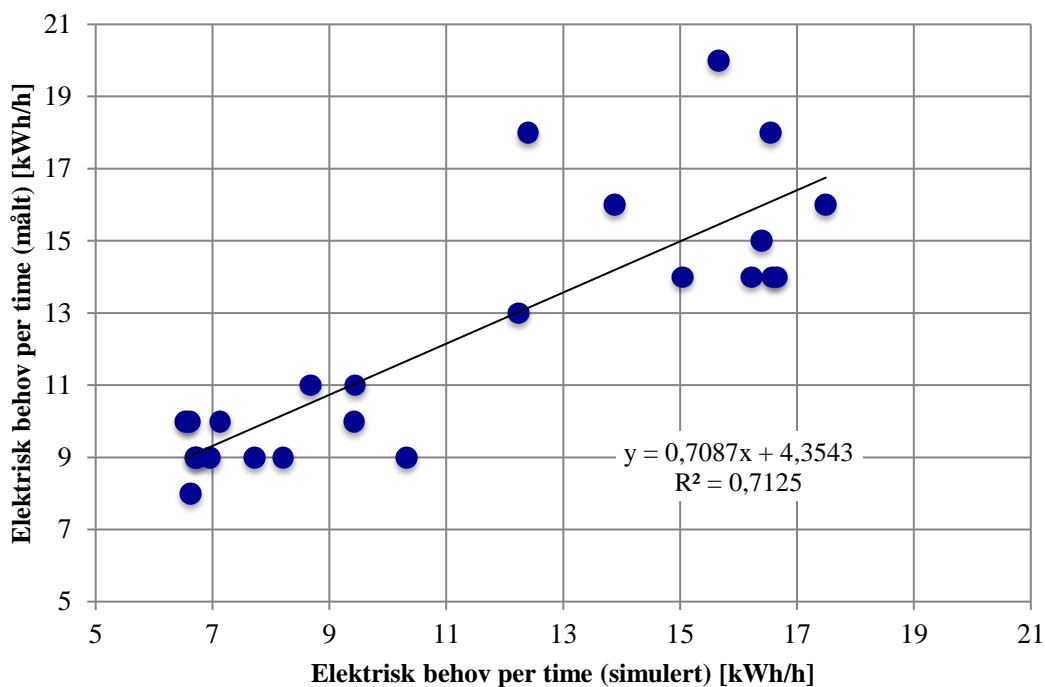
Figur 13.5: Kalibrering med varighetskurve over timesforbruket gjennom året.

Ved å sammenligne målinger for en dag med simulerte verdier for samme dag ved bruk av klimafil, vist i Figur 13.17, kan det ses når på døgnet det skal være høyt og lavt elektrisitetsforbruk. Det er benyttet en klimafil for 2016 for å simulere elektrisitetsbehovet gjennom døgnet. Grafen viser et noe lavere forbruk mellom 00:00 og 07:00 på morgenen, men i de resterende timene av døgnet er det jevnt over et tilsvarende simulert behov som i virkeligheten. Unntaket er klokken 17:00, der forbruket var mye høyere enn timen før og timen etter. Dette kan komme av at det i dette tidspunktet ble satt i gang utstyr som trakk mye strøm, for eksempel dersom en pumpe ble satt i gang.



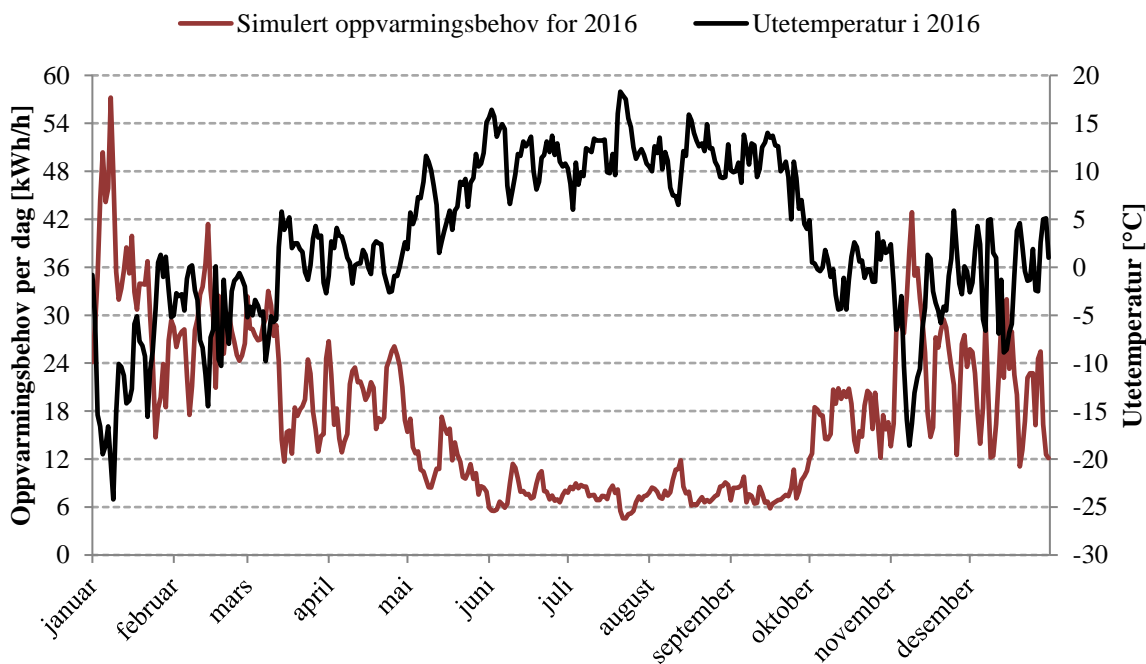
Figur 13.6: Kalibrering for det elektriske forbruket på en dag, med målinger fra 2016 og simulerte verdier med klimafil for 2016.

For å kvalitetssikre kalibreringen gjennomført for en dag er det valgt å sette opp det målte og det simulerte forbruket for den valgte dagen i en punktgraf, for en regresjonsanalyse. På grunn av det høye forbruket som forekommer den ene timen i løpet av døgnet er det valgt å sette inn en eksempelverdi her, som er noe lavere. Dette er fordi dette er et unntak fra vanlige målinger. I tillegg vil et så høyt forbruk påvirke kalibreringsgrafene i stor grad, og gjøre at denne ikke ville være akseptabel for videre simuleringer. Kalibreringsgrafene er vist i Figur 13.7, denne har en R^2 -verdi på 0,71 og et stigningstall på 0,7. Korrelasjonen er her på 0,84, som tilsvarer en sterk sammenheng mellom verdiene. Analysen viser at simuleringens modellen er akseptabel for videre simuleringer med scenarioer.



Figur 13.7: Kalibrering i punktgraf med simulert og målt elektrisk behov per time for en dag i 2016.

For å undersøke om det simulerte oppvarmingsbehovet er godt nok til å benytte i videre simuleringsscenarioer ses det på det simulerte oppvarmingsbehovet sammenlignet med reelle temperaturer. I Figur 13.8 er det simulerte effektbehovet gjennom året simulert med en klimafil for året 2016, og sammenlignet med utetemperaturen for samme år. Grafen viser en klar sammenheng mellom produsert varme og utetemperatur. Dette viser at modellen er korrekt satt opp med tanke på at den produserer varme når det er behov for det.



Figur 13.8: Simulert oppvarmingsbehov med klimafil sammenlignet med utetemperaturen, for året 2016.

13.3 Simuleringsresultat

For å sammenligne de ulike U-verdiene simulert i IDA-ICE er verdiene satt opp i Tabell 13.1 sammen med TEK17 sine minimumskrav for alle bygninger. Dersom det er flere ulike tak og vegger på samme bygg er det regnet ut en gjennomsnittsverdi. Men på deler med stor forskjell er de egne verdiene satt opp i parentes, som med vegger i garasjedelen av fjøset og kjellerdelen av våningshuset. Resultatet viser at det er ved energiltak store besparelser å hente. Gulvet mot grunnen har svært høy verdi, sammenlignet med det som er kravet til nyoppførte bygg i dag. På en annen side er gulvet mot grunnen i fjøset, gulvet til garasjen som er uoppvarmet. Dette må tas i betraktning, da dette innebærer at det ikke trengs å være så store varmetap som verdien tilsier. Med tanke på vinduene er det stor forskjell på TEK17 sine krav og verdiene fra modellen. Foruten om U-verdiene til veggene i garasjen, tak og dører er varmemotstanden dårligere enn minimumskravene for nybygg i dag. Dersom reisverket hadde blitt beregnet med i simuleringen, ville flere av U-verdiene vært høyere enn de er her. Dette er på grunn av at noe av isolasjonsmaterialet da ville blitt erstattet med reisverk, som har dårligere varmemotstand enn isolasjonsmaterialet. U-verdiene for dørene er beregnet for standarddørene i IDA-ICE og kan derfor avvike noe fra virkelige tall.

Tabell 13.1: U-verdier fra simulert modell i IDA-ICE og minimumskravene til TEK17 [96].

	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 inkl. karm/ramme [W/m ² K]	U-verdi dør inkl. karm/ramme [W/m ² K]
TEK17: Minimumskrav	≤ 0,22	≤ 0,18	≤ 0,18	≤ 1,2	≤ 1,2
Fjøs (garasjedel)	0,305 (0,152)	0,135	0,989	2,630	1,085
Våningshus (kjellerdel)	0,292 (0,721)	0,115	0,997	2,630	1,085

Det simulerte energibehovet deles inn i elektrisk forbruk og oppvarmingsforbruk, og kan i tillegg fordeles henholdsvis på ventilasjon, lys og utstyr og oppvarming av tappevann og bygg. Tabell 13.2 viser årsforbruket fordelt på forbruker i byggene, og mellom fjøset og våningshuset. Utstyr står for den største delen av det elektriske behovet, og dekker 68 % av det totale behovet på gården. Det resterende behovet er fordelt på belysningen og ventilasjonsanlegget. For alle de tre brukergruppene er det fjøset som har det største behovet, og står for 84 % av alt elektrisk forbruk. Dette kommer i all hovedsak av at det er i stor grad er mye mer belysning og utstyr plassert i fjøset enn i våningshuset. Dette tilsier at det er størst energibesparelse å hente i fjøset, med tanke på strømforbruket.

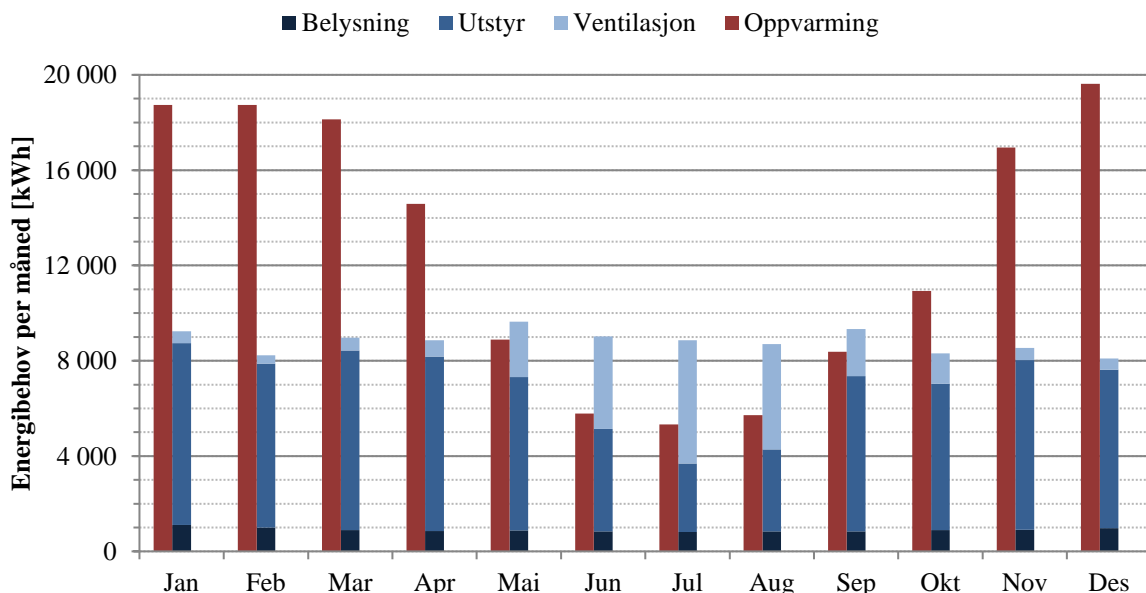
Tabell 13.2: Simulert årsproduksjon fordelt på bruker og bygg på et år.

Årsproduksjon [kWh]			
Bruker	Fjøs	Hus	Totalt
Belysning	9 244	1 623	10 867
Utstyr	57 480	15 349	72 829
Ventilasjon	23 208	0	23 208
Flisfyring	112 182	38 161	150 343
Totalt	202 114	55 133	257 247

De største forbrukerne av strøm på gården er fôringsanlegget, høy- og korntørken, tilførselen av flis og svømmebassenget. Resultatet fra simuleringen viser at bassenget står for 20 % av det elektriske behovet til utstyret på gården.

Fjøset har størst behov for oppvarming, der 75 % av oppvarmingsforbruket går til fjøset. Dette kommer av at det har mye større areal som har behov for oppvarming, i tillegg er det dårligere isolert og slipper ut mer varme enn våningshuset. Mye varmetap kommer også fra ventilene i fjøset. På grunn av at våningshuset krever oppvarming til et basseng er dette noe høyere enn andre bolighus på samme størrelse.

Figur 13.9 viser det simulerte energiforbruket fordelt på oppvarmingsbehov og elektrisk behov i et søylediagram. Stolpene som viser elektrisitetsforbruket er i tillegg fordelt på elektrisk behov til ventilasjonen, utstyret og belysningen på gården. Oppvarmingsbehovet er høyest i de kaldeste månedene gjennom året, og viser et høyt behov fra november til mars. I sommermånedene juni, juli og august er ikke oppvarmingsbehovet høyere enn 6 000 kWh.

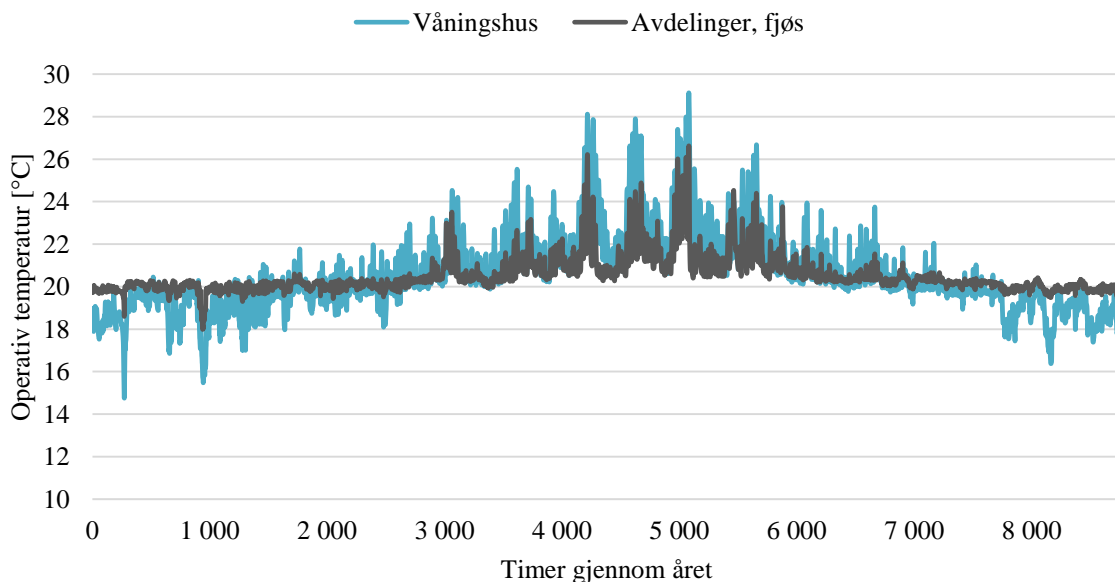


Figur 13.9: Simulert energibehov fordelt på oppvarming og elektrisitet. Elektrisk forbruk er delt inn i behovet til belysning, utstyr og ventilasjon.

Den blå søylen viser elektrisitetsforbruket i kWh per måned gjennom året. Den nederste delen av søylene viser det elektriske behovet til belysningen i fjøs og hus. Dette er stort sett jevnt gjennom året. Mye av grunnen til dette kommer av lysstyringen i fjøset som er tidsbestemt. På grunn av tilgangen på dagslys gjennom året er det likevel noe reduksjon av elektrisk behov på sommeren, sammenlignet med vinterstid. Elektrisitetsbehovet til utstyr varierer gjennom året, med et relativt jevnt forbruk fra september til mai og et noe lavere et i de tre resterende sommermånedene. Ventilasjonsanlegget derimot har høyest forbruk på sommerhalvåret, og trekker lite strøm i månedene november til april. Høyest behov for ventilasjon gjennom året er i juli, som også er den måneden med høyest normaltemperatur. Simuleringen viser at det er avtrekksviftene som har høyest forbruk i denne måneden og i august. Dette er for å unngå at temperaturen inne i fjøset hos dyrene blir for høy. Fra figuren kan det ses at det stort sett gjennom året er utstyr som står for det meste av behovet for strøm.

13.3.1 Inneklima

Operativ temperatur kan angi noe om den termiske komforten i sonene i bygget. Figur 13.10 viser gjennomsnittlig operativ temperatur i fjøsets avdelinger med dyr og i våningshuset. I fjøset viser grafen en stabil temperatur de fleste timene gjennom året, med noe høyere temperaturer i sommermånedene. Ut ifra veiledende temperaturintervall vil disse temperaturene stort sett være akseptable, med noen unntak med høye temperaturer. Det vil i disse periodene være viktig med tilstrekkelig ventilasjon for å kunne opprettholde et godt inneklima for dyrene. I våningshuset varierer innetemperaturen i noe større grad enn i fjøset, noe som kan være et resultat av at det ikke finnes regulering i form av et ventilasjonsanlegg. Simuleringsresultatene viser at det i større grad er beboerne i huset som er termisk komfortable, enn i fjøset.



Figur 13.10: Operativ innetemperatur i fjøsets avdelinger gjennom året.

Tabell 13.3 viser de operative maksimums- og minimumstemperaturene i de to ulike byggene. Resultatet viser at det i våningshuset kan bli svært høye temperaturer, noe som kommer av ekstra høye temperaturer fra den øverste etasjen. I de resterende sonene i huset er derimot antall timer med behov for kjøling mye lavere. Grunnen til at temperaturen blir så høy kommer av at

det ikke er installert noe form for kjøling eller ventilasjon i bygget. Sammenlignes temperaturene mellom huset og fjøset, vises det ut i fra maks. og min. verdier at temperaturen holdes mer stabil i fjøset enn i våningshuset.

Tabell 13.3: Operative minimums- og maksimumstemperaturer i fjøset og huset.

Bygning	Minimumstemperatur [°C]	Maksimumstemperatur [°C]
Våningshus	16,8	29,0
Avdelinger, fjøs	17,9	26,6

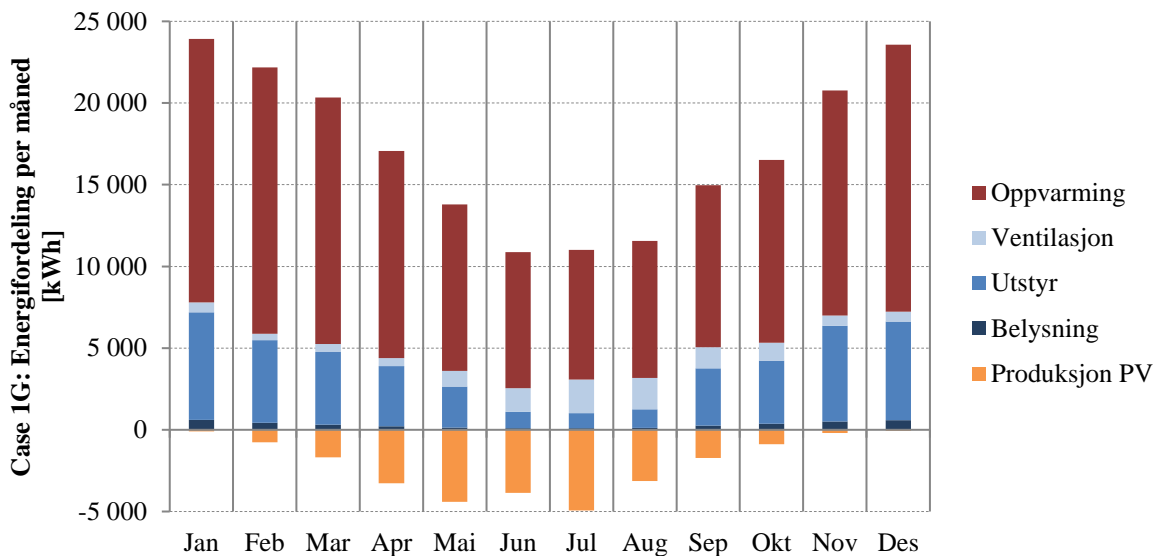
13.4 Case 1

Modellen i Case 1G er simulert med LED-belysningen fra merket Glamox, og har mindre totalt installert effekt for belysningen enn casen med belysning fra Prima (Case 1P). Tabell 13.4 viser en oversikt over det elektriske behovet, oppvarmingsbehovet, produksjonen fra solcellepanelene, samt fordelingen av disse. Tabellen viser at forskjellen på det elektriske behovet mellom de to simuleringene er 912 kWh i løpet av ett år. Fra opprinnelig forbruk har det blitt en reduksjon på ca. 2,7 %. Dette tilsier at det ved å bytte ut belysningen ikke i stor grad reduserer det totale behovet, da store deler av behovet kommer fra utstyr og ventilasjonsanlegg. I tillegg kan det elektriske behovet øke noe på grunn av tettingen av luftlekkasjer og utskiftingen av vinduer. Ved å gjøre selve bygget tettere kan det i perioder bli behov for økt bruk av avtrekksviftene i tider med høye utetemperaturer.

Tabell 13.4: Fordelingen av elektrisk forbruk, oppvarmingsforbruk og generering fra solceller i Case 1G og Case 1P.

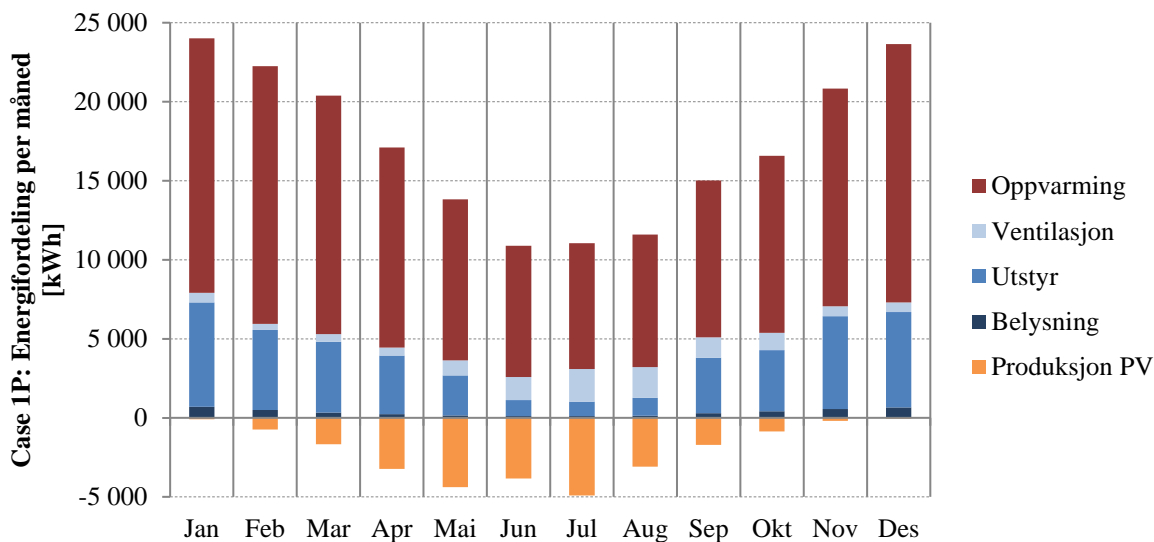
	Elektrisk forbruk		Produksjon fra solceller			Oppvarmingsforbruk
	Behov [kWh]	Kjøpt fra nettet [kWh]	Generert strøm [kWh]	Brukt fra PV [kWh]	Solgt strøm [kWh]	Flisfyring [kWh]
CASE 1G	103 589	60 330	68 265	43 259	25 006	146 250
CASE 1P	104 501	60 972	68 266	43 529	24 737	146 224

Oppvarmingsbehovet i simuleringen har et redusert behov på ca. 4 100 kWh i året. En grunn til at behovet ikke er lavere kan komme av at fjøset er dårlig isolert fra før. I tillegg er det luftlekkasjer gjennom ventilene som er plasserte i bygget. Av all generert elektrisitet fra solcellepanelene blir 63 % brukt på gården, og det resterende blir levert på nettet.



Figur 13.11: Fordeling av energibehov og levert energi per måned for Case 1G.

Ved å benytte Glamox i scenarioet kan det ses fra Figur 13.11 at produksjonen fra solceller dekker det meste av behovet for belysning. Dette kommer av at produksjonen fra solcellene er høyest på dagen, som forekommer på samme tid som belysningen er i bruk. Dette gjelder både for fjøset og for huset. I tillegg er behovet for å kjøpe elektrisitet fra nettet til både ventilasjonsanlegget og utstyr i stor grad redusert i sommerhalvåret. De samme resultatene gjelder for scenarioet med belysningen fra Prima, med unntak av et noe høyere elektrisitetsbehov til belysningen. Energifordelingen fra det andre scenarioet er vist i Figur 13.12. Grafene viser når det må leveres produsert strøm på nettet gjennom året. Dette er høyest i de fem månedene, fra april til og med august. I disse månedene blir det levert mer strøm på nettet enn det blir kjøpt til eget bruk. Oppvarmingen er tilsvarende lik gjennom året i de to simuleringene, med høyest behov i vinterhalvåret.



Figur 13.12: Fordeling av energibehov og levert energi per måned for Case 1P.

Ved å erstatte belysningen i fjøset med LED-belysningen i Case 1G og 1P, har behovet for elektrisitet til belysningen i fjøset blitt redusert med henholdsvis 36 % og 27 % fra opprinnelig behov.

13.5 Case 2

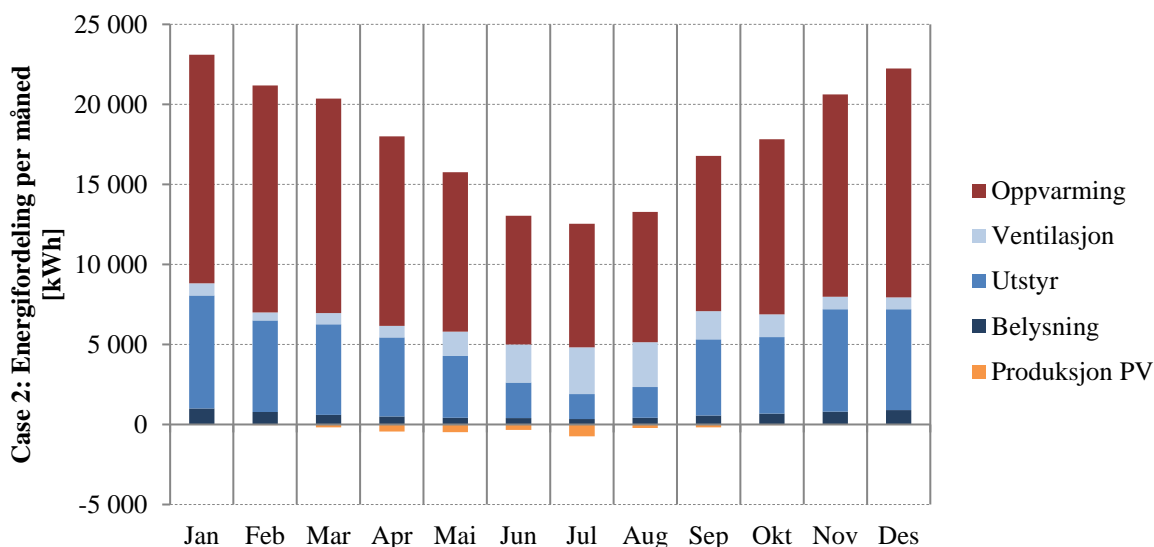
Oppvarmingsforbruket, vist i Tabell 13.5, i scenarioet Case 2 er redusert med 10 % fra opprinnelig modell. Det er i denne casen størst reduksjon i oppvarmingsforbruket, noe som kommer av at det er gjort flest tiltak på bygningskroppen. På samme tid som oppvarmingsforbruket har blitt redusert, har det elektriske behovet økt med 1 424 kWh i året. Dette har trolig sammenheng med det økte behovet for ventilasjon i sommermånedene, da dette scenarioet er bedre til å holde på varmen som produseres fra dyra inne i fjøset.

Tabell 13.5: Fordelingen av elektrisk forbruk, oppvarmingsforbruk og produksjon fra solceller i Case 2.

	Elektrisk forbruk		Produksjon fra solceller			Oppvarmingsforbruk
	Behov [kWh]	Kjøpt fra nettet [kWh]	Generert strøm [kWh]	Brukt fra PV [kWh]	Solgt strøm [kWh]	Flisfyring [kWh]
CASE 2	108 337	79 587	31 410	28 750	2 663	135 118

Det integrerte solcellepanelet på låvetaket produserer nok til å dekke 26,5 % av det totale elektriske behovet. Det er i tillegg bare 8 % av det produserte som må leveres tilbake på nettet, noe som viser at egenproduksjonen i stor grad blir utnyttet.

Figur 13.13 viser at det meste av produksjonen fra det integrerte solcelleanlegget på låvetaket går til egen bruk. Det blir levert lite til nettet gjennom året, og det meste forekommer i de fire månedene fra april til juli. Grunnen til at egenproduksjonen i så stor grad blir benyttet til eget behov kommer av at det ikke er installert et like stort anlegg som i andre simulerte scenarioer. Det er heller ikke gjennomført tiltak som reduserer det elektriske forbruket, i tillegg til at det øker på grunn av økt behov for ventilasjon om sommeren i et tettere bygg. Oppvarmingsbehovet har blitt redusert jevnt gjennom året. Fordelingen av energibehov i fjøs og hus er lik som i opprinnelig modell, med unntak av ventilasjons- og oppvarmingsbehovet. Ventilasjonen har økt 6 % fra tidligere forbruk.



Figur 13.13: Fordeling av energibehov og levert energi per måned for Case 2.

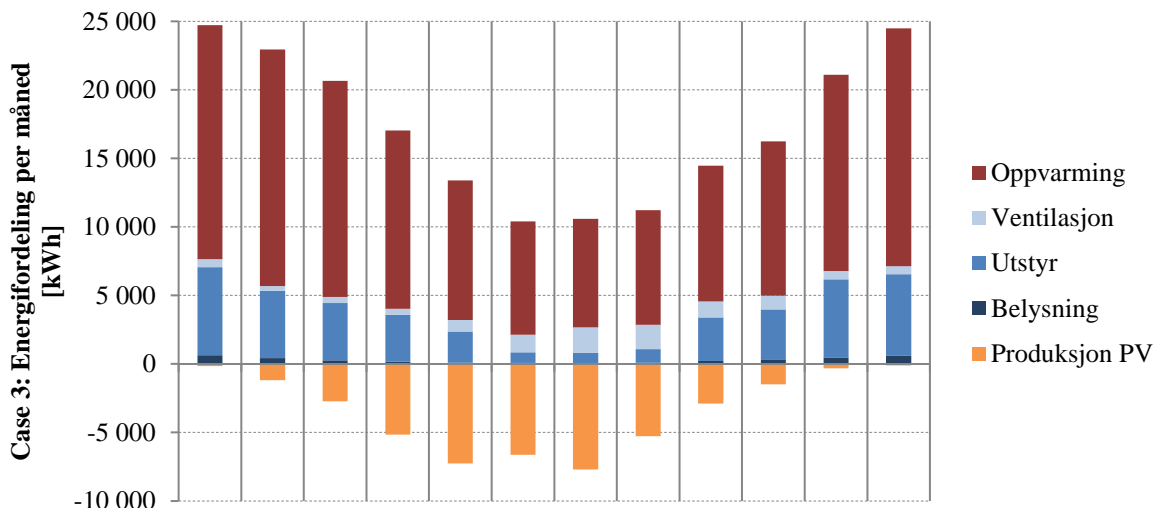
13.6 Case 3

Ved at det ikke benyttes tiltak på isolering og tetting vil ikke behovet for oppvarming reduseres, noe som gjør at oppvarmingsforbruket i Case 3 og i den opprinnelige modellen er tilsvarende like. Fordelingen av behov, produksjon og salg er vist i Tabell 13.6. Det elektriske behovet har blitt redusert med 3,3 % fra normalt forbruk, på grunn av reduksjon av belysningstid og utbytte av belysningen. Ved å i tillegg redusere brukstiden i svømmebassenget reduseres det elektriske behovet med 12,4 % og 13 000 kWh i året, samt at oppvarmingsforbruket reduseres. Sistnevnte resultat kommer av at det blir et redusert behov for oppvarming av vannet.

Tabell 13.6: Fordelingen av elektrisk forbruk, oppvarmingsforbruk og produksjon fra solceller i Case 3 og Case 3B.

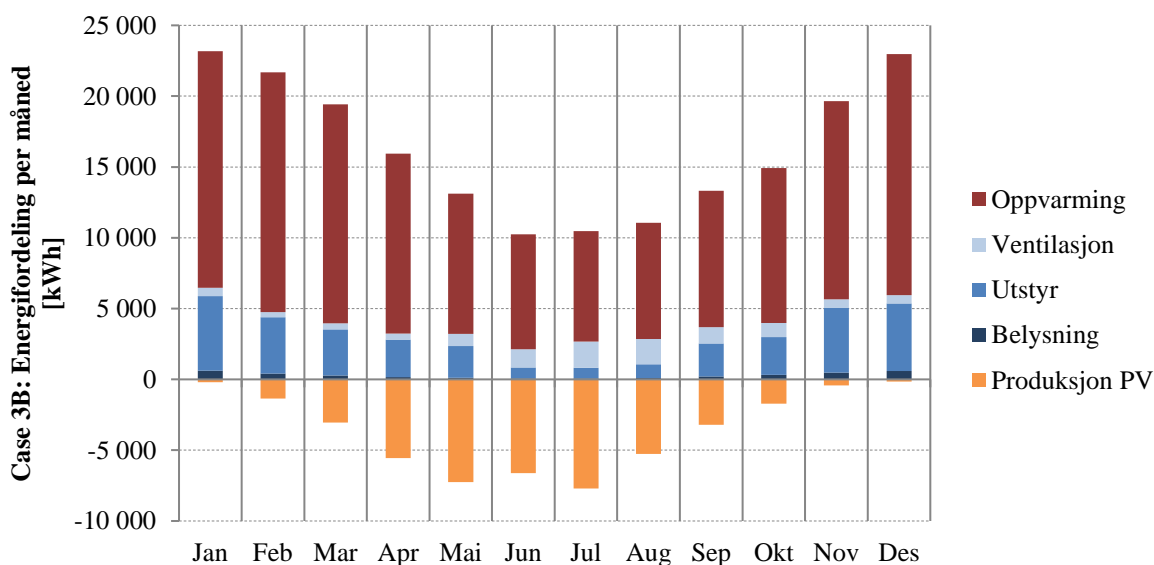
	Elektrisk forbruk		Produksjon fra solceller			Oppvarmingsforbruk
	Behov [kWh]	Kjøpt fra nettet [kWh]	Generert strøm [kWh]	Brukt fra PV [kWh]	Solgt strøm [kWh]	Flisfyring [kWh]
CASE 3	103 416	56 589	87 703	46 827	40 872	150 677
CASE 3B	93 685	48 517	87 703	45 168	42 541	147 470

Dette scenarioet har det største installerte solcelleanlegget av de definerte pakkene. Tabellen viser en høy produksjon som fører til at bare litt over halvparten går til egen bruk, mens det resterende blir levert på nettet. Figur 13.14 viser månedlig levert strømproduksjon på nettet gjennom året, i det første scenarioet i Case 3. Det blir i størst grad eksportert på sommeren når produksjonen er høyest, noe som også fører til at det er nødvendig med mindre kjøp fra nettet i de samme månedene. Følgende vises også i Figur 13.15, som illustrerer energifordelingen i det andre scenarioet i casen. I månedene april til august blir det levert mer på nettet enn det blir kjøpt til eget bruk. I tillegg blir det levert dobbelt så mye enn det som blir hentet i de tre månedene mai, juni og juli. Det blir på det meste levert 87 kW, som er under NVEs eksportgrense for plusskunder.



Figur 13.14: Fordeling av energibehov og levert energi per måned for Case 3.

Når brukstiden til svømmebassenget reduseres til å ikke være i bruk i de månedene med lavest utetemperatur, vil oppvarmingsbehovet i de samme månedene reduseres. Det er også i de samme månedene at elektrisitetsbehovet til utstyr vil reduseres, da det er her pumpene tilknyttet bassenget vil bli slått av. I Case 3B med redusert brukstid på basseng blir behovet for elektrisitet til utstyr tilknyttet huset redusert med 63,4 %, noe som tilsier at bruken av svømmebassenget står for mye av årsforbruket i huset.



Figur 13.15: Fordeling av energibehov og levert energi per måned for Case 3B.

13.7 Lønnsomhetsberegninger

Ved å benytte nåverdimetoden kan det vurderes lønnsomheten i ulike tiltak og installasjoner som blir utført på gården. Tabell 13.7 viser en oversikt over parameterne for å beregne nåverdien til de ulike simulerte scenarioene. Besparelsen er beregnet ved å ta utgangspunkt i dagens totale kostnad for innkjøp av flis og levert strøm for et år, der de reduserte kostnadene etter simuleringen er trukket fra og inntekten for eksportert strøm er lagt til. Renten er satt til å være 4 %, og investeringskostnaden er beregnet ut i fra estimerte kostnader for de ulike tiltakene. Levetiden er beregnet til 60 år. Det er da beregnet at det vil forekomme nye investeringer for tiltakene og installasjonene som har lavere økonomisk levetid.

Tabell 13.7: Besparelse, levetid, investering og beregnet nåverdi for ulike scenarioer.

Scenario	Besparelse, B [kr]	Levetid, N [år]	Investering, I [kr]	Nåverdi, NV [kr]
Case 1G	44 260	60	1 484 795	-473 853
Case 1P	43 678	60	1 414 781	-417 124
Case 2	24 912	60	1 096 328	-527 307
Case 3	50 454	60	1 251 050	-98 631
Case 3B	57 868	60	1 251 050	70 724

De kalkulerte nåverdiene viser at det ved gitte investeringskostnader og besparelser ikke vil lønne seg med investeringene i løpet av satt levetid og renteverdi. Dette med unntak av tiltaket med svømmebassenget. Grunnen til at dette tiltaket blir lønnsomt er fordi det er mulig å gjøre en betydelig besparelse uten ekstra utgifter, noe som fører til at det blir lettere å oppnå et lønnsomt resultat. Det vil også på grunn av et lavere elektrisitetsbehov her bli eksportert mer, noe som påvirker besparelsen til å bli høyere.

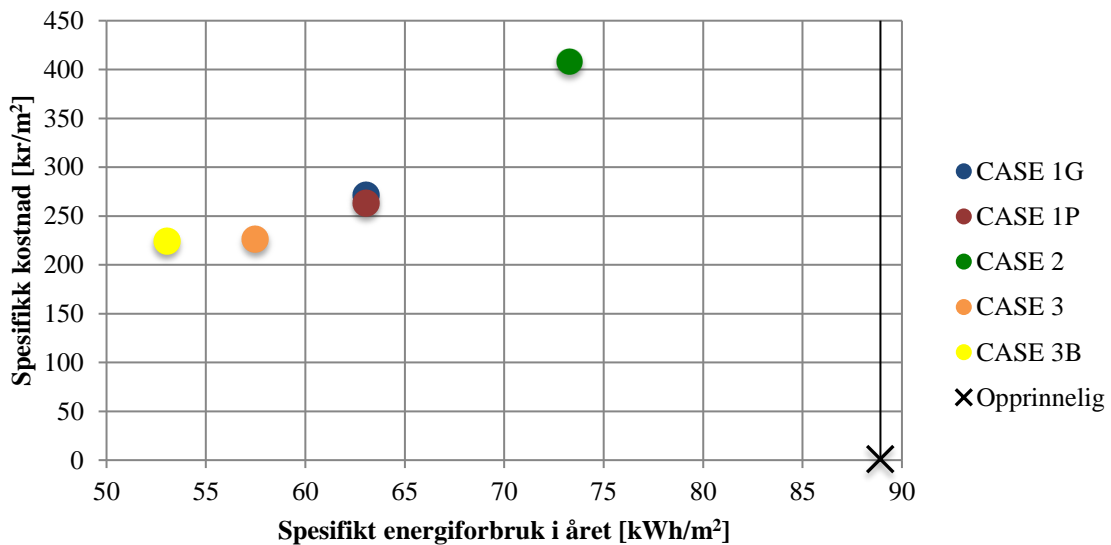
Ved eventuell investeringsstøtte fra støtteprogram kan det være mulig for scenarioene å oppnå lønnsomhet med gitte faktorer. I Tabell 13.8 er det oppgitt nødvendig støtte på investeringskostnadene for at det skal være lønnsomt å gjennomføre de ulike tiltakspakkene.

Tabell 13.8: Nødvendig støtte i prosent for at simulerte scenarioer kan oppnå lønnsomhet.

Scenario	Nødvendig støtte
Case 1G	32 %
Case 1P	30 %
Case 2	49 %
Case 3	8 %
Case 3B	0 %

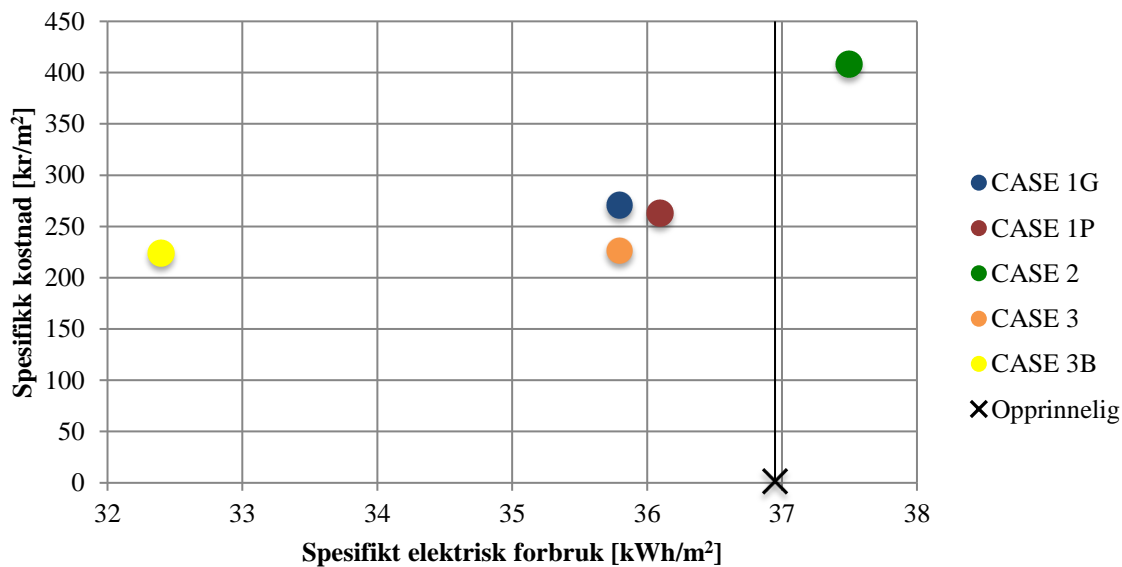
Dersom det i Case 3 benyttes en levetid på 20 år, vil derimot scenarioene bli lønnsomme. Dette innebærer da at solcelleanleggets levetid reduseres med ti år. Her vil det første scenarioet i casen være innbetalt etter 18 år, mens Case 3B vil være lønnsom etter 15 år.

For å kunne sammenligne de økonomiske belastningene og energibesparelsene i de ulike scenarioene som er simulert er resultatene satt opp i COA-grafer. Figur 13.16 viser kostnadsoptimale beregninger med spesifikt energiforbruk på et år. Tiltaket med både høyest energiforbruk og kostnad per areal er scenarioet i Case 2, som omhandler tetting og isolering. Resultatet viser at det ved tiltak som etterisolering av store overflater, forekommer høye kostnader. Selv om reduksjonen i spesifikt energiforbruk reduseres med 17 %, er det dette tiltaket som har lavest reduksjon på det totale energiforbruket. Case 1G og 1P vises i blått og rødt i grafen. Forskjellen på å benytte de to ulike LED-typene er nesten ikke merkbar når det gjelder spart spesifikt energiforbruk på et år, i tillegg er den spesifikke kostnaden bare 7,9 kr/m² dyrere for scenarioet 1G.



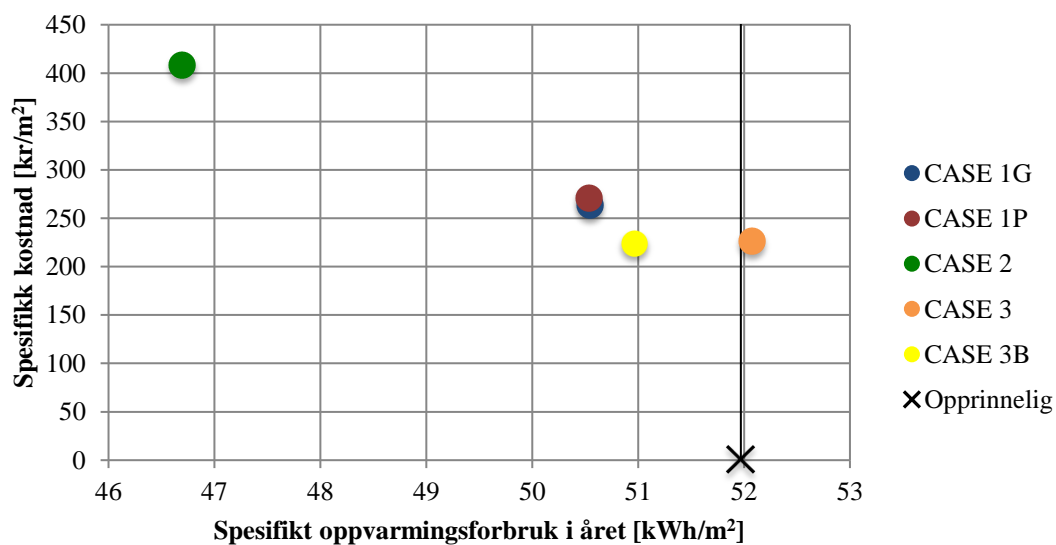
Figur 13.16: Kostnadsoptimale beregninger og spesifikt energiforbruk for ulike scenarioer.

Besparelsen i spesifikt elektrisk behov er svært lik mellom de tre scenarioene 1P, 1G og 3. Det samme gjelder for den tilhørende spesifikke kostnaden for simuleringene. Fra Figur 13.17 kan det ses at Case 2 øker det spesifikke elektriske forbruket fra opprinnelige verdier, som kommer av økt ventilasjonsbehov. Ut ifra grafen kan det ses hvor stor del et svømmebasseng utgjør av elektrisk forbruk, da det er her den største reduksjonen forekommer.



Figur 13.17: Kostnadsoptimale beregninger og spesifikt elektrisk forbruk for ulike scenarier.

Ved å kun se på besparelsene i spesifikt oppvarmingsforbruk og spesifikk kostnad, vist i Figur 13.18, er det absolutt størst besparelse i Case 2. Dette kommer av tiltakene tilknyttet scenarioet som er simulert. Case 3 er det eneste tiltaksscenarioet der oppvarmingsforbruket øker sammenlignet med opprinnelige verdier. En grunn til dette kan være at det her er satt inn mindre installert effekt med belysning enn i det opprinnelige bygget. Dette bidrar til mindre varmeproduksjon fra belysningen, i tillegg til at LED gir fra seg mindre varme, noe som kan føre til at det blir et økt oppvarmingsbehov. I Case 3B kommer ikke dette frem på grunn av redusert oppvarmingsforbruk til bassenget. Forskjellen i spesifikt oppvarmingsbehov mellom Case 1G og 1P er også minimal i dette tilfellet. Det er i tillegg verken stor forskjell mellom scenarioet 3B og de to scenarioene i Case 1, når det gjelder spesifikk kostnad eller spesifikt oppvarmingsforbruk.

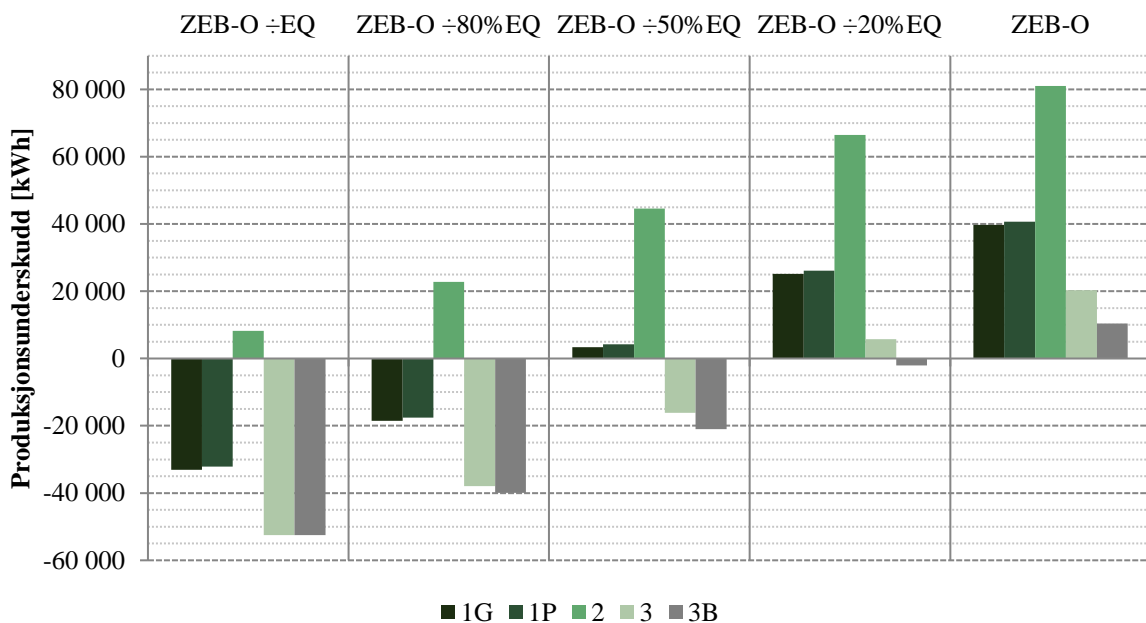


Figur 13.18: Kostnadsoptimale beregninger og spesifikt oppvarmingsforbruk for ulike scenarier.

13.8 Ambisjonsnivå i ZEB

For å undersøke muligheten simulerte scenarioer har for å oppnå et ambisjonsnivå innen ZEB, er det laget fem ulike ambisjonsnivå som kan være mulig å nå. Dette er ZEB-O ÷EQ, ZEB-O ÷80%EQ, ZEB-O ÷50%EQ, ZEB-O ÷20%EQ og ZEB-O. Der sistnevnte er det mest krevende ambisjonsnivået å oppnå. Ved å oppnå nivået ZEB-O ÷20%EQ innebærer det at det er nok fornybar energiproduksjon til å kunne kompensere for utslippene tilknyttet bruken av bygget der 20 % av utstørsbruken er trukket fra. Med andre ord dekkes 80 % av det totale utslippet til utstyr tilknyttet gården. Grunnlaget for de valgte scenarioene kommer av det høye forbruket innen utstyr i det simulerte energieresultatet. Dette er trolig noe som også vil gjelde for andre gårder.

Figur 13.19 viser en oversikt over hvilke scenarioer som har muligheten til å nå de ulike ambisjonsnivåene. Denne viser produksjonsunderskuddet til de ulike scenarioene for å oppnå de ulike målene. Dette vil si at der verdiene kan leses av som negative er scenarioene i et produksjonsoverskudd, og det valgte ambisjonsnivået er oppnådd. Verdien er beregnet ved å først finne nødvendig produksjon for deretter å trekke fra produksjonen fra solcelleanlegget i de ulike scenarioene.



Figur 13.19: Produksjonsunderskudd for ulike scenarioer, fordelt på ulike ambisjonsnivå innen ZEB.

Det er for de to laveste ambisjonsnivåene mulig oppnåelse for fire av fem scenarioer. Det eneste unntaket er Case 2, som ikke vil kunne nå noen av de satte ambisjonsnivåene. I alle tilfeller er det de to scenarioene i Case 3 som har best mulighet til å kvalifisere seg som et ZEB-bygg, noe som kommer av at det er her installert størst solcelleanlegg med høyest produksjon. Det scenarioet som har muligheten til å oppnå det høyeste ambisjonsnivået er Case 3B, som ikke har produksjonsunderskudd ved ZEB-O ÷20%EQ.

Dersom det i Case 3 velges å redusere solcelleanlegget ved å ikke installere paneler på garasjetaket vil de to scenarioene fortsatt kunne oppnå de to laveste ambisjonsnivåene. Case 3B vil også kunne oppnå nivået der 50 % av utstysbruken er utelatt, mens Case 3 her vil være 3 301 kWh i produksjonsunderskudd.

14 Diskusjon

Prosjektet hadde som mål å se på en gård, for å analysere relevante energieffektiviseringstiltak og energiforsyningsteknologier. Dette har blitt utført ved å kartlegge energibruken i et fjøs og våningshus, i tillegg til å samle inn litteratur om tiltak og teknologier som kan være aktuelle.

Ut i fra SSB sin statistikk over antall landbruksbedrifter og antall bygg tilknyttet landbrukssektoren, kan det ses at det trolig er flere enn ett bygg på hver gård. I tillegg er det mange av byggene som er eldre og dårlig isolerte, og derfor storforbrukere av energi. Dette gjør at det derfor er aktuelt i dag å se på forbedringer som kan gjøres på bygg i denne sektoren, da det finnes store potensialer. Hindringen i en eventuell oppgradering kan være at kostnadene for så store bygg kan bli for store dersom det bare er en gårdbruker som skal finansiere prosjektet. En fordel er at merverdiavgiften ved innkjøp tilknyttet bedriften trolig vil kunne bli fraskrevet, og det finnes flere ulike støtteprogram som kan være aktuelle å søke om støtte fra.

14.1 Modellering og kalibrering i IDA-ICE

Resultatene av simuleringen viser et energiforbruk som kan tilsvare de virkelige målingene og verdiene som er brukt som utgangspunkt for sammenligning. Det målte elektriske forbruket er svært detaljert da det er benyttet timesverdier fra de fem siste årene. På en annen side finnes det ingen detaljer som viser til hvordan fordelingen av forbruket er mellom våningshus og fjøs, da det bare benyttes én måler. Det er derfor ikke annet grunnlag for å avgjøre om fordelingen er korrekt, enn data for oppvarmingsforbruk til våningshus og at belysning og utstyr i modellen er korrekt fordelt. Sammenlignes det elektriske forbruket med det som er antatt normalt for et bolighus er det derimot et akseptabelt resultat. Dette med tanke på at det er et stort treetasjes hus, med noe høyere oppvarmingsbehov på grunn av et svømmebasseng.

Når det gjelder kalibrering av oppvarmingsbehovet til byggene, finnes det et begrenset sammenligningsgrunnlag. Det er her samlet inn totalt forbruk av flis gjennom to år, i tillegg er innkjøpene fordelt på måneder gjennom året. Likevel er det ikke noe data som kan vise til når de innkjøpte mengdene er benyttet. Dette kan være en medvirkende årsak til at resultatene ikke er reelle. Det beste sammenligningsgrunnlaget for om modellen er riktig dimensjonert er derfor utetemperaturen, da oppvarmingsbehovet vil endre seg sammen med den. Da denne sammenligningen viser et resultat med verdier som stemmer overens, er det likevel grunn til å tro at modellen er akseptabel for videre simuleringer.

På grunn av at det utregnede oppvarmingsbehovet bare er gjort på grunnlag av to år, er det usikkert om dette kan regnes som normalår. Det er derfor større usikkerhet i hvor realistiske disse verdiene er. Det kan også forekomme at flisen som er kjøpt og levert i 2016 og 2017, ikke alltid har samme kvalitet. For eksempel kan flisen til tider være fuktigere, og dermed ha lavere energiinnhold per volumenhet. Dette utgjør en usikkerhet i beregningene for oppvarmingsforbruket. Potensielt kan verdiene derfor være høyere, enn faktisk forbruk. Det kan også være at det bør gjøres reguleringsinnstillinger på fyringskjelen med hensyn til fliskvaliteten. Det beregnede forbruket kan også være for høyt på det grunnlaget at varmetapene i byggene er

høyere enn forventet. Det kan for eksempel være høye tap i rørene, i tillegg til at noe av gulvvarmen trolig er med på å varme opp uoppvarmet garasje og kjeller under avdelingene.

Kalibreringen for det elektriske forbruket blir både gjort på årsbasis, månedsbasis og timesbasis gjennom en dag. For at en modell skal kunne benyttes videre er det viktig å benytte flere parametere som sammenligningsgrunnlag. Dette er fordi behovet vil endre seg gjennom året og gjennom døgnet. Resultatet av kalibreringen er akseptabel med tanke på videre arbeid. Likevel vil det på grunn av gjennomsnittsberegninger bli borte effekttopper som oppstår på ulik tid. Disse er vanskelige å ta med i beregningene i IDA-ICE, noe som er grunnen for at det ble brukt gjennomsnittlige målinger, ved sammenligning av månedsforbruket. Resultatet fra kalibreringen på timesbasis viser at modellen kan benyttes, med unntak av et høyt avvik. Det vil mest sannsynlig være et noe annerledes resultat i virkeligheten som kanskje kan føre til at det i enkelte perioder vil bli benyttet mer generert strøm til eget forbruk og til tider eksportert mer. En ulempe med dette kan være at det er en mulighet for at eksportgrensen overstiges. Dette krever samtidig at virkelige resultatene er veldig ulike, da modellen fortsatt har noe å gå på innenfor den gitte grensen.

Det bør tas i betraktning at det i programmet IDA-ICE er svært mange parametere som kan reguleres og endres på, noe som kan gjøre simuleringsresultatene noe usikre. Det kan blant annet være flere verdier som er satt inn i programmet som påvirker de to byggene på samme måte, men som i virkeligheten vil være ulike. På en annen side er det i stor grad samlet inn alt av relevant informasjon for de ulike byggene, bruksmønster og utstyrsbruk. Noe som bør kunne resultere i et realistisk resultat og en tilstrekkelig modell.

Temperaturen inne i fjøset kan i realiteten være mer varierende, da det kan være både lavere og høyere aktivitet blant dyrene enn det blir beregnet. I tillegg vil det gjennom året være noe variasjoner av antall dyr i de ulike avdelingene. Dette kan ha en innvirkning som ville ha påvirket resultatet. Med tanke på termisk komfort vil dette også trolig være ulikt virkelige resultater, da IDA-ICE sine beboere er antatt å være mennesker. Den operative temperaturen viser til at det vil oppstå høye temperaturer hvor beboere er avhengig av lettere bekledning og lite aktivitet for å kunne ha det termisk komfortabelt. Det vil likevel de fleste tider av året være en temperatur som er akseptabel for brukerne.

14.2 Scenarier og tiltak på gården

Ved å gjøre tiltak på bygningskroppen som etterisolering, tetting og reduksjon av kuldebroverdier vil det bli et noe økt behov for ventilasjon i fjøset. Dette er på grunn av at ventilasjonsanlegget i dag består av kun avtrekksvifter og ventiler. Noe som igjen vil si at luft som blir ført inn til bygget kommer gjennom de åpne ventilene og andre utettheter i bygget. Ved at bygget blir tettere vil det derfor være nødvendig for avtrekksviftene å kjøre på høyere effekt for å kunne ventilere tilstrekkelig inne i avdelingene. I tillegg vil et tettere bygg også føre til at det blir varmere inne om sommeren, som gjør at behovet for avkjøling ved utskifting av luft blir høyere. Det er derfor ikke sikkert at slike tiltak er like ideelt for fjøset med dagens ventilasjonsløsning.

Reduksjon av brukstiden til et svømmebasseng vil bare være gjeldende for akkurat denne gården. I andre tilfeller vil det mest sannsynlig ikke være noe som er gjennomførbart. På en annen side vil det å fjerne denne brukeren gjøre at modellen vil være mer lik en annen gjennomsnittlig gård. Videre kan derfor et slikt scenario være mer aktuell for sammenligning med andre gårder og fjøs som undersøker muligheten for å gjennomføre energieffektivisering. Det er da viktig at det er denne modellen som er utgangspunktet for å beregne lønnsomhet og besparelser, og ikke den originale.

Tiltak som utskifting av vindu er en fordel i fjøs der det alltid er dyr tilstede, siden det ikke er store inngrep som krever tid eller plass. Ved å benytte vinduer med lavere U-verdi enn de opprinnelige kan det føre til at det slippes inn mindre varme fra solinnstrålingen, som igjen kan øke oppvarmingsbehovet. På en annen side kan dette også være et tiltak som fører til redusert oppvarming om sommeren, som kan være en fordel med tanke på behovet for ventilasjon. Ved analysering av resultatene til scenarioene ga likevel ikke tiltaket stor innvirkning på det totale oppvarmingsbehovet. En mulig grunn til dette kan være at vinduene som er installert utgjør et relativt lite areal av det totale veggarealet.

Resultatet fra simuleringen med etterisolering viser at oppvarmingsbehovet i liten grad reduseres. Dette kan være på grunn av ventilene og ventilasjonsanlegget slik det er bygget opp i dag. På grunn av åpningene i bygget, vil derfor ikke varmetapet reduseres i særlig stor grad.

Et tiltak som kan vurderes er varmegjenvinning fra ventilasjonsanlegget. Dette er i dag ikke et tilgjengelig tilbud på grunn av lav etterspørsel. Likevel er det grunn til å tenke at det er et potensiale å hente da dette i dag benyttes i fjørfefjøs, som har tilsvarende krevende innemiljø som svinefjøs. Det er også mye varmeproduksjon, samtidig som det er et behov for høye temperaturer, sammenlignet med for eksempel storfefjøs. Med utgangspunktet som er installert i fjøset i dag er det trolig teknisk utfordrende å realisere varmegjenvinning i dag. Det vannbårne systemet er installert i gulvet, mens avtrekksviftene er plassert i taket.

På grunnlag av arealet og takvinklene er det svært gunstig å kunne benytte solcellepanel til generering av strøm til eget bruk. I tillegg viser solfangeranlegget på Søre Kvåle at det i området trolig er gode muligheter for å også kunne utnytte sola til elektrisitetsgenerering. Den største fordelene ved å benytte seg av solcellepanel er at på samme tid som produksjonen er høyest, er også behovet for å drifte avtrekksviftene størst. Ved de største simulerte solcelleanleggene er det veldig høy produksjon, som fører til at mye må eksporteres på nettet. Dette kan på en side virke som unødvendig, spesielt når bare halvparten av den genererte strømmen blir benyttet til å dekke eget elektrisk behov. Til tross for at mye må leveres med det største anlegget blir likevel ikke eksportgrensen til NVE oversteget. En løsning kan også være å investere i lagringsteknologi for å utnytte solcelleanlegget i større grad til eget behov. Behovet for å importere strøm fra nettet vil også reduseres, sammen med tilhørende kostnader.

Det er valgt å ikke benytte andre kilder til fornybar energiproduksjon i scenarioene enn solcellepanel. Hovedgrunnen til dette er at det sannsynligvis er lettere å oppnå et ambisjonsnivå i ZEB, da det kan være et stort behov for å eksportere til nettet for å kompensere tilstrekkelig.

Ved å kombinere et varmepumpeanlegg til det eksisterende systemet vil dette føre til høyere elektrisk behov til drift og større investeringskostnader. Det krever også en god del omfattende endring dersom det skal startes opp et biogassanlegg. De valgte energiløsningene er derfor å anta aktuelle for gården i nærmere fremtid, i tillegg til at kombinasjonen kan være mer aktuell for andre gårder med lignende utgangspunkt.

Som pilotgård i prosjektet «Grønn næringsutvikling» er det mulig at andre tiltak kan være mer aktuelle for gården. Dette prosjektet er spesielt rettet mot gårder, som innebærer at tiltakene som blir foreslått her, vil være tilpasset.

14.3 Kostnadsberegninger

Ved utføring av kostnadsberegninger er det viktig å ta hensyn til at estimerer for ulike tiltak i stor grad kan variere. Dette kan komme av at det er varierende priser hos ulike leverandører. I tillegg kan det være ulike begrensninger eller fordeler med byggets utgangspunkt som gjør at prisene endres. Noen av de benyttede kostnadene er også beregnet på andre typer bygg enn et fjøs, noe som kan påvirke totalestimatet. I tillegg kan det være variasjon i økonomisk levetid, renteverdi og besparelser på grunn av ulik varierende strømpris. En faktor som også bør vurderes i lønnsomhetsberegningen er at leddet for gjenværende verdi ikke er inkludert. Denne summen ville økt besparelsene i hvert enkelt tiltak.

Når nåverdi beregnes er det viktig å ta med i betraktning at ulike tiltak og installasjoner har varierende levetid. Til tross for at resultatet er beregnet til å ha en levetid på 60 år, er det flere faktorer som kan påvirke dette. En mulighet kan være at en investering med en levetid på 20 år ikke vil koste det samme når det blir behov for å erstatte det. Det kan også være at det ikke er behov for å erstatte alt etter endt levetid, men bare deler av tiltaket. Dette vil resultere i en lavere investeringskostnad enn først antatt. I tillegg er det en mulighet for at det ikke er et behov for oppgradering eller utskifting, når økonomisk levetid er nådd. Dersom et anlegg eller en installasjon bare skal oppgraderes kan det være at det ikke er nødvendig med like store inngrep. Følgende faktorer kan derfor medvirke til at noen av scenarioene er mer lønnsomme enn beregnet nåverdi viser. På samme tid er det logisk å regne med at tetting og isolasjon vil være sikrere tiltak, da sannsynligheten for at disse skal bli defekte over tid er lavere enn for elektriske installasjoner. Slik kan ekstra utgifter forekomme på grunn av feil som oppstår uventet.

De ulike scenarioene har svært forskjellige behov for nødvendig støtte for at investeringene skal oppnå et lønnsomt resultat. Det er ut i fra resultatene relativt gunstig med besparelsene som blir gjort i Case 3, med tiltak på belysningen og installasjon av solcelleanlegg. Ved søknad om støtte kan det være en mulighet for å vurdere om denne casen kan utvides med andre tillegg, dersom det er mulig å motta en høyere andel støtte enn 8 %. Det er for de to scenarioene i Case 1 mulig å oppnå lønnsomhet dersom tiltaket får støtte til å dekke rundt 30 % av investeringsbeløpet. Noe som er en overkommelig støtteandel.

Et mulig scenario kan være å søke om støtte til en av casene, der enkelte tiltak kan kuttes ut eller reduseres for så å oppnå et noe lavere ambisjonsnivå innen ZEB. Det kan da i senere tid

vurderes om det er aktuelt med en utvidelse og oppgradering av systemet, samt om det er mulig å nå et enda høyere nullutslippskrav.

Dersom den økonomiske levetiden til solcelleanlegget settes til 20 år er det også mulig å sette den totale økonomiske levetiden til de to scenarioene i tredje tiltakspakke til dette. Det innebærer i praksis at det ikke er nødvendig å gjøre nye investeringer i løpet av den beregnede tiden. Investeringen for belysning må ved 60 år gjøres tre ganger, mens det for solcelleanlegget må gjøres to ganger. Dette kan tyde på at det er solcelleanlegget som i størst grad bidrar til at investeringen kan bli lønnsom.

Etterisolering er det dyreste tiltaket, som i størst grad påvirker investeringssummen for tiltakspakken i Case 2. Dette er et tiltak som vil være rimeligere dersom fasaden allerede skal byttes ut. Noe som igjen gjør at det kanskje ikke er like aktuelt i dette tilfellet. Ved tilsvarende tiltak på et bolighus ville det mest sannsynlig ikke bli like stor totalpris, da det ikke er nødvendig å etterisolere et like stort overflateareal som i dette tilfellet.

Ut ifra den simulerte energibruken er det utstyrsdelen på gården som står for det meste av forbruket. Det kan være vanskeligere å innføre tiltak i denne delen, da det i stor grad innebærer å bytte ut større motorer, pumper og apparater. Dersom det ikke er behov for utskifting vil det trolig ikke lønne seg økonomisk å investere i nytt utstyr, selv om dette skulle være mer energieffektivt. Dette kommer av at det stort sett er store apparater med høye investeringskostnader som må erstattes. Noe som er en unødvendig investering å gjennomføre når det ikke er behov for det i utgangspunktet. Etter hvert som det likevel blir behov for å erstatte defekt utstyr, kan det prioriteres å velge energieffektiv teknologi.

Besparelsene gjort i Case 3B vil bare gjelde for akkurat denne gården, da dette i utgangspunktet er kostnader som vanligvis ikke finnes og vil derfor ikke kunne reduseres. For andre tradisjonelle eldre gårder i Norge er det derfor i større grad aktuelt å se på de andre tiltakspakkene, da de kan være aktuelle å benytte. Det er også viktig å legge til grunn at i beregningene er det installert et flisfyringsanlegg fra før, noe andre gårder kanskje ikke har. Dersom en gård i dag har elektrisk oppvarming, ville investeringskostnadene blitt mye høyere om det i tillegg til et solcelleanlegg skulle blitt installert et flisfyringsanlegg.

14.4 Ambisjonsnivået ZEB

For å kunne kompensere for utslipp tilhørende gården, må det benyttes fornybar energiproduksjon, som både må gå til eget bruk og til eksport. Siden det ikke finnes et fjernvarmenett som kan kobles til på gården er dette eneste mulighet for å levere på et tilkoblet nett.

For å oppnå et ZEB-ambisjonsnivå er det nødvendig med høy generering av strøm fra solcellepaneler. En grunn til dette kan være at det er noe vanskeligere å redusere energibehovet til et eksisterende bygg. Det er i dag bare ett annet bygningsprosjekt som har kvalifisert seg innen kravene til ZEB ved renovering. Det er viktig å ta med i dette tilfellet at det originale

bygget ble revet, med unntak av bærekonstruksjonen i betong. Dette er ikke aktuelt for gården som er simulert, noe som kan føre til et noe mer krevende utgangspunkt.

Det vil være enklere å oppnå et ZEB mål ved å redusere det elektriske behovet fordi det i dag allerede er et installert flisfyringsanlegg som står for oppvarmingen. Flisfyringen står for mye mindre av det totale utslippet av g CO₂-ekvivalenter, enn elektrisitetsbruken gjør. Dette innebærer at det blir raskere mye mindre å kompensere for dersom fokuset settes på å redusere behovet for elektrisitet på gården.

Ut i fra beregninger er det den siste simulerte casen som har best utgangspunkt for å kunne oppnå et nullutslippsmål. Dette viser at det kan være lettere å oppnå utslippsmål ved reduksjon i det elektriske forbruket. Det kan i tillegg være mulig at ved å gjøre de rimeligste tiltakene i Case 3 også i den første casen at det i større grad vil ha mulighet til å oppnå et av målene. Både Case 1G og 1P er svært nærme å oppnå kravene til ZEB-O ÷50%EQ, noe som antyder at det muligens bare er nødvendig med forbedring av belysningsstyringen. Dette er et tiltak som i tillegg til å være rimelig, vil redusere det elektriske behovet til belysningen merkbart.

Det bør tas i betraktning at det innebærer klimagassutslipp ved produksjonen av solcellepanelene. Selv om dette ikke vil utgjøre en innvirkning på ZEB-regnskapet, da materialbruken er utelatt. Likevel er det en konsekvens som bør vurderes, før det gjennomføres en investering på denne størrelsen. Dette vil også være aktuelt for en eventuell installasjon og innkjøp av lagringsteknologi.

På grunn av at utstyr står for en stor andel av det elektriske forbruket på gården, vil dette være en faktor som påvirker et eventuelt ambisjonsnivå for gårder. Det kan derfor være aktuelt å sette sammen et ambisjonsnivå som tar bort deler av dette behovet, for at flest mulig gårder skulle kunne ha en potensiell mulighet for å oppnå målet. En egen ZEB-definisjon kan potensielt være med å påvirke at andre tilsvarende bygg undersøker muligheter, for å benytte fornybar energiproduksjon og gjennomføring av energieffektivisering. Det er også viktig å ta i betraktning at det ikke skal være for enkelt å kunne oppnå et satt nivå, da ambisjonen bak det er å gjøre miljøvennlige tiltak som bidrar til reduksjon av klimapåvirkninger.

15 Konklusjon

Ut ifra kalibreringen gjennomført på flere grunnlag, er det grunn for å tro at modellen som er bygd opp i simuleringsprogrammet er akseptabel. Med bakgrunn i innsamlede data og flere sammenligninger er det laget en modell som vil kunne tilsvare de virkelige byggene. Dette til tross for begrenset sammenligningsgrunnlag med hensyn til oppvarmingsbehovet. I tillegg er parameterne brukt for å måle inneklimate akseptable, ved å se på målte verdier.

Tiltak på bygningskroppen er for gården i dag et dårlig alternativ, som er lite aktuelt. Etterisolering og tetting på bygget innebærer høye investeringskostnader, da det er store areal som skal dekkes. Det samme gjelder kostnader for vinduer med lavere U-verdi, siden det er et større antall som må byttes. I tillegg er det i dag ikke nødvendig med utskifting av fasade, noe som gjør at tiltakene blir ekstra kostbare. Simuleringene har også vist at det i liten grad reduserer oppvarmingsbehovet. Det som likevel blir redusert resulterer i at behovet for ventilasjon øker, som igjen øker det elektriske behovet og kostnadene tilknyttet.

Nåverdimetoden viser at ingen av de valgte scenarioene i dag er lønnsomme, med unntak av Case 3B. Dette viser at besparelsene ved gjennomføring av tiltakene ikke er tilstrekkelige nok for å gjøre investeringen lønnsom. Hovedgrunnen kan være at bygget har store lekkasjer gjennom åpne ventiler, slik at tiltakene ikke har god nok innvirkning. I tillegg kan både rentesats og levetid for ulike komponenter og installasjoner ha mye å si.

Tiltakene i Case 3 viser er at det er viktig å gå nøye gjennom det elektriske forbruket for å kartlegge om det finnes unødvendige brukere av elektrisitet. Det kan i flere tilfeller finnes tiltak som innebærer å redusere brukstiden på strømforbrukere. Dette vil ikke bare være energisparende tiltak, men i mange tilfeller også rimelig, om ikke gratis. I kombinasjon med andre tiltak i satte scenarioer vil det da raskere bli oppnådd et lønnsomt resultat, samt at det vil bli lettere å oppnå et ambisjonsmål med mindre utslipp.

For oppnå et ambisjonsnivå som nullutslippsbygg er det i dette tilfellet mest lønnsomt å fokusere på tiltak som reduserer elektrisitetsbruken. Dette er fordi det er lettere å kompensere for utslippene tilknyttet det elektriske behovet. Noe som gjelder da for denne gården, siden det ikke blir brukt elektrisk oppvarming.

Dersom et eget ZEB nivå skal defineres for tradisjonelle gårdsbruk, vil det være mest aktuelt å lage ambisjonsnivå som ikke må dekke det totale utslippet knyttet til utstysbruk. Dette bør være et nivå som er potensielt oppnåelig for gårdsbruk i Norge, i tillegg til at det bidrar betraktelig til begrensinger i klimagassutslipp.

16 Videre arbeid

De ulike tiltakene kan simuleres uten et svømmebasseng for å være mer tilpasset en gjennomsnittlig gård. Dersom dette regnes som utgangspunktet, er det lettere å kunne benytte lønnsomhetsberegningen og tiltaksanalysen for andre gårder. I tillegg bør det testes å utvikle kombinasjoner av de ulike tiltakspakkene for å finne flere og mer optimale løsninger.

Ved å benytte bedre isolasjonsmateriale og bedre vinduer, kan det undersøkes hvordan dette vil påvirke oppvarmingsbehovet. Dette bør også bli medregnet i nye kostnadsberegninger. Ved etterisolering og tetting kan det også være aktuelt å bytte ut ventilasjonsanlegget med balansert ventilasjon med varmegjenvinning, for å utnytte varmen i fjøset i større grad.

Potensiell biogassproduksjon er også noe som kan undersøkes videre. Dette innebærer å finne ut hvilket potensiale det er på gården i dag, hvor store installasjoner som kreves og hvilke sikkerhetskrav som må overholdes. I tillegg til alle kostnader som hører til.

En mulighet er å undersøke kostnader og potensiale fjøset har for å kunne utnytte varmen i husdyrgjødsel, ved hjelp av varmegjenvinning. Det bør her undersøkes kostnader tilknyttet tiltaket, og hvor mye arbeid som kreves for å gjennomføre det.

Dersom det kan kombineres en pakkeløsning som er lønnsom og som når et satt ZEB-nivå, kan det videre søkes om støtte for å realisere oppgraderingen. Dersom dette blir innvilget, er det mulig å sette i gang med installasjoner og oppgraderinger.

Referanseliste

1. Brambilla, A., et al., *Nearly zero energy building renovation: From energy efficiency to environmental efficiency, a pilot case study*. Energy & Buildings, 2018.
2. Anne Sofie Abrahamsen, M. Bergh, and Nadiya Fedoryshyn. *Energibruk i bygninger i tjenesteytende virksomhet 2011*. Statistisk sentralbyrå (SSB) 2013 [cited 2017 15.12]; Available from: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/attachment/154307?ts=142fa6ff6d8>.
3. Almås, A.-J., et al. *An approach to impact assessments of buildings in a changing climate*. 2011. 227-238 DOI: 10.1080/09613218.2011.562025.
4. Statistisk sentralbyrå. *Strukturen i jordbruket, 2016, førebelse tal*. SSB 2017 16.02 [cited 2017 03.10]; Available from: <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/stjord/aar/2017-01-17>.
5. Statistisk sentralbyrå. *Husdyrhald*. SSB 2017 10.08.17 [cited 2017 05.10]; Available from: <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/jordhus/aar>.
6. Kummen, T.M., *Foto*. 2018: 13.05.
7. SINTEF Byggforsk, 533.102: *Vinduer. Typer og funksjoner*. 2016: Byggforskserien.
8. Trøstheim, H., *E-postkommunikasjon*, T.M. Kummen, Editor. 2017, Fjøssystemer AS. Avdeling: Gris.
9. Avdelingsleder Landbruksventilasjon, *Telefonkommunikasjon*, T.M. Kummen, Editor. 2017: J. L Bruvik A/S.
10. Torbjørn Fjeldstad, *Våningshus for gårdbruker T. Kummen, Skjåk*, in *Tegn. nr. 3*. 1957.
11. Statistisk sentralbyrå. 10573: *Gjennomsnittlig energiforbruk per husholdning, etter hustype 1995-2012*. Energibruk i husholdningene 2012 [cited 2018 31.05]; Available from: <https://www.ssb.no/statbank/table/10573/?rxid=dcfe89d1-a8b7-4094-9ac4-02e9258eb541>.
12. Statistisk sentralbyrå. 10568: *Husholdninger, etter type oppvarmingsutstyr bygningstype (prosent)*. Energibruk i husholdningene 2012 [cited 2017 18.12]; Available from: <https://www.ssb.no/statistikkbanken/selecttable/hovedtabellHjem.asp?KortNavnWeb=husenergi&CMSSubjectArea=energi-og-industri&checked=true>.
13. Skjåk Energi KF, *Forbruk (kWh), timesverdier for strømkontrakt: Kummen*. 2018: sken.no.
14. Hallenstvedt Import-Salg AS, *Telefonkommunikasjon*, T.M. Kummen, Editor. 2017: hallenstvedt.no.
15. NVE, et al. *Ressursgrunnlag: Faste biobrensler fra skog*. NVE, Enova, Norges forskningsråd, Innovasjon Norge 2016 [cited 2017 05.12]; Available from: <http://www.fornybar.no/bioenergi/ressursgrunnlag#bio1.3>.
16. Novakovic, V., et al., *Energy management in buildings*. 2007, NTNU, SINTEF: TEP 4235.
17. Mattilsynet. *Retningslinjer for hold av svin*. Statens dyrehelsetilsyn 2013 [cited 2017 13.12]; Available from: https://www.mattilsynet.no/dyr_og_dyrehold/produksjonsdyr/svin/retningslinjer_for_hold_av_svin.5700.
18. Bøe, K.E. *Termoregulering hos husdyr*. 2014 27.01 [cited 2017 08.10]; Available from: <http://www.kasjmirlaget.no/wp-content/uploads/2016/01/Termoregulering-2014.pdf>.
19. Mattilsynet. *Veileder til forskrift om hold av storfe*. 2018 [cited 2018 22.05]; Available from: https://www.mattilsynet.no/om_mattilsynet/gjeldende_regelverk/veiledere/veileder_om_hold_av_storfe.1853/binary/Veileder%20om%20hold%20av%20storfe.

20. Nordgård, A.S.R., et al. *Anaerobic digestion of pig manure supernatant at high ammonia concentrations characterized by high abundances of Methanosaeta and non-euryarchaeotal archaea*. Scientific Reports 2017 [cited 2018 22.05]; Available from: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-14527-1>.
21. Radon, K., et al., *Air Contaminants in Different European Farming Environments*. 2002, Ann Agric Environ Med (AAEM).
22. Trøstheim, H., *Telefonsamtale*, T.M. Kummen, Editor. 2018, Fjøsssystemer AS. Avdeling: Gris.
23. Sverre B. Holøs, Å.L.H. *Oppgradering til passivhusstandard*. SINTEF Byggforsk [cited 2017 01.11]; Available from: <https://www.byggforsk.no/file/index/429>.
24. SINTEF Byggforsk: Byggforvaltning, 701.266: *Energisparende tiltak i boliger*. 2004: Byggforskserien.
25. Hamdy, M., *Energy systems in building and Integrated renewable energy technologies.*, in *TBA4171 - Bygnings- og materialteknikk, videregående kurs. Forelesningsmateriale, 06.09. 2017*, NTNU.
26. Cuce, E. and S.B. Riffat, *A state-of-the-art review on innovative glazing technologies*, in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. p. 695-714.
27. Soroosh Daqiqeh Rezaei, S.S., Seeram Ramakrishna, *A review of conventional, advanced, and smart glazing technologies and materials for improving indoor environment*, in *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 2016. p. 26-51.
28. Direktoratet for byggkvalitet, *Byggteknisk forskrift (TEK17). Kapittel 14 Energi: § 14-4. Krav til energieffektivitet*. 2017: dibk.no.
29. Jelle, B.P., et al. *Thermal Superinsulation for Building Applications - From Concept to Experimental Investigations*. International Journal of Structural Analysis & Design - IJSAD, 2014. **1**, 43-50.
30. Jelle, B.P. *Traditional, state-of-the-art and future building insulation materials and solutions - Properties, requirements and possibilities*. Energy and Buildings, 2011. 2549-2563.
31. Kumar, A., et al., *Implementation of Smart LED Lighting and Efficient Data Management System for Buildings*, in *World Engineers Summit - Applied Energy Symposium & Forum: Low Carbon Cities & Urban Energy Joint Conference, WES-CUE 2017, 19-21 July 2017, Singapore*. 2017. p. 173-178.
32. Kıyak, İ., B. Oral, and V. Topuz, *Smart indoor LED lighting design powered by hybrid renewable energy systems*. Energy and Buildings, 2017. **148**: p. 342-347.
33. Direktoratet for byggkvalitet. *Energieffektiv belysning*. Lavenergiprogrammet 2015 [cited 2018 04.05]; Available from: <http://lavenergiprogrammet.no/artikkel/energieffektiv-belysning/>.
34. Tore Wigenstad, et al., *Ventilasjons- og varmeløsninger i boliger med lavt energibehov*, in *Prosjektrapport 110*. 2012, SINTEF Byggforsk, Husbanken.
35. Shalika Walker, T.L., Wim Maassen, Wim Zeiler, *A review study of the current research on energy hub for energy positive neighborhoods*, in *Distributed Urban Energy Systems (Urban Form, Energy and Technology, Urban Hub). CISBAT 2017 International Conference – Future Buildings & Districts – Energy Efficiency from Nano to Urban Scale, CISBAT 2017 6-8 September 2017, Lausanne, Switzerland*. 2017.
36. Kuang, Y., et al., *A review of renewable energy utilization in islands*, in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. p. 504-513.
37. Jelle, B.P., C. Breivik, and H.D. Røkenes *Building integrated photovoltaic products: A state-of-the-art review and future research opportunities*. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2012.

38. Meteorologisk institutt. *Døgnnormaler: Tabell (1961-1990) - Middeltemperatur i Skjåk*. wsklima.met.no 2017 [cited 2017 10.10]; Available from: http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL.
39. Berner, M., *Kostnadsstudie, Solkraft i Norge 2013*. 2013, Enova SF og Multiconsult: Enova.no.
40. Strømberg, C.C. *Solkart.no*. Norkart AS, Solcellespesialisten, Sivilingeniør Carl Christian Strømberg AS 2016 [cited 2017 05.12]; Available from: <https://solkart.no/>.
41. European Commission. *Monthly global irradiation data*. PVGIS: Photovoltaic Geographical Information System 2017 [cited 2017 05.12]; Available from: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>.
42. Modahl, I.S., et al., *Biogassproduksjon fra matavfall og møkk fra ku, gris og fjørfe. Status 2014 (fase III) for miljønytte og verdikjedeøkonomi for den norske biogassmodellen BioValueChain.*, in *Sustainable Innovation*. 2015: Østfoldforskning, p. 127.
43. Sidelnikova, M., et al., *Kostnader i energisektoren: Kraft, varme og effektivisering. Rapport (Norges vassdrags- og energidirektorat : trykt utg.)*. Vol. nr. 2. 2015, Oslo: NVE: Norges vassdrags- og energidirektorat.
44. Martinez, S., et al. *Micro-combined heat and power systems (micro-CHP) based on renewable energy sources*. Energy Conversion and Management, 2017. 262-285.
45. Rasul, M.G., C. Ault, and M. Sajjad *Bio-gas Mixed Fuel Micro Gas Turbine Co-Generation for Meeting Power Demand in Australian Remote Areas*. Energy Procedia. The 7th International Conference on Applied Energy – ICAE2015, 2015. 1065-1071 DOI: 10.1016/j.egypro.2015.07.476
46. Guneya, M.S. and Y. Tepe, *Classification and assessment of energy storage systems*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017.
47. Vieira, F.M., P.S. Moura, and A.T.d. Almeida, *Energy storage system for self-consumption of photovoltaic energy in residential zero energy buildings*. Renewable Energy, 2017.
48. Mokkelbost, T. *Batterier som energilager*. SINTEF. Seniorforsker. 2017 [cited 2018 02.02]; Available from: <https://www.sintef.no/contentassets/275dae666db8496aa5e89363790dac78/11-batterier-som-energilager-mokkelbost.pdf>.
49. Truong, C.N., et al., *Economics of Residential Photovoltaic Battery Systems in Germany: The Case of Tesla's Powerwall*. Batteries. Institute for Electrical Energy Storage Technology, Technical University of Munich., 2016.
50. Tesla. *Tekniske spesifikasjoner: Tesla Powerwall*. 2018 [cited 2018 02.02]; Available from: https://www.tesla.com/no_NO/powerwall.
51. Tesla. *Totale systemspesifikasjoner: Tesla Powerpack*. 2018 [cited 2018 02.02]; Available from: https://www.tesla.com/no_NO/powerpack.
52. Direktoratet for byggkvalitet, *Byggteknisk forskrift (TEK17). Kapittel 1 Felles bestemmelser: § 1-2. Forskriftens anvendelse på særskilte tiltak*. 2017: dibk.no.
53. SINTEF Byggforsk, *473.003: Energieffektive bygninger. Begreper og definisjoner*. 2015: Byggforskserien.
54. Norges vassdrags- og energidirektorat. *Plusskunder*. 2017 [cited 2017 16.12]; Available from: <https://www.nve.no/energiforsyning-og-konsesjon/elsertifikater/>.
55. Selvig, E., M.K. Wiik, and Å.L. Sørensen *Campus Evenstad - Statsbyggpilot. Jakten på nullutslippsbygget ZEB-COM*. Statsbygg, 2017.
56. Dokka, T.H., et al., *A Norwegian Zero Emission Building Definition*. Passivhus Norden 2013, 2013.

57. Fufa, S.M., et al., *A Norwegian ZEB Definition Guideline*, in *ZEB Project report 29*. 2016.
58. ZEB og Sør-Trøndelag fylkeskommune, *Notat - Vurdering av energibruk og klimagassutslipp for nye Heimdal VGS*. 2014.
59. Enova SF *Årsrapport*. Enovarapport 2017:1. www.enova.no, 2016.
60. Mæhlum, J.-E., *Erfaringer med solfangere og vedkjel*, in *Økologisk landbruk: Nr 1. Tema: Klima*. 2014: Norsk Landbruksrådgiving Gudbrandsdalen. p. 16-18.
61. Maria Justo Alonso and H.M. Mathisen *Analysis of reduction of energy demands for Zero Emission Renovated Office Building by using thermal mass and ventilative cooling*. Energy Procedia. 11th Nordic Symposium on Building Physics, NSB2017, 11-14 June 2017, Trondheim, Norway, 2017. 592-597 DOI: 10.1016/j.egypro.2017.09.750.
62. Hohle, E.E., *Oppstartsmøte: Grønn næringsutvikling*, T.M. Kummen, Editor. 2018, Energigården: Senter for bioenergi, Brandbu. 19.04.18.
63. Lemvigh-Müller, *Produktblad: PRIMA LED AGRI 1500 4000LM/840 IP66*. 2018.
64. Multiconsult og Asplan Viak, *Rapport: Solcellesystemer og sol i systemet*, in *Solenergiklyngen*. 2018.
65. Boermans, T., et al., *Cost optimal building performance requirements*, in *European Council for an Energy Efficient Economy*. 2011.
66. Nord Pool AS. *Day-ahead prices*. 2018 [cited 2018 01.06]; Available from: <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data/Dayahead/Area-Prices/NO/Hourly/?view=table>.
67. Skjåk Energi Nett, *E-postkommunikasjon*, T.M. Kummen, Editor. 2018: Nettleigepriser frå 1. januar 2018. Skjåk Energi KF.
68. Lindberg, K.B. and I.H. Magnussen, *Tiltak og virkemidler for redusert utslipp av klimagasser fra norske bygninger*. Sektorrapport for bygg i Klimakur 2020. Vol. 4. 2010, Oslo: NVE: Norges vassdrags- og energidirektorat.
69. Berner, M., *E-postkommunikasjon*. 2018, Enova SF: Felles verktøy revidert med TEK10 (Excel).
70. Direktoratet for byggkvalitet. *Isolasjon (passivhusstandard)*. Lavenergiprogrammet 2015 [cited 2018 28.05]; Available from: <http://www.lavenergiprogrammet.no/artikkel/isolasjon-passivhusstandard/>.
71. Norconsult Informasjonssystemer AS og Bygganalyse AS, *Oppslagsverk: Norsk Prisbok*. 2018, Programvare.
72. Sandvik, S., *E-postkommunikasjon*, T.M. Kummen, Editor. 2018: Tilbud lysarmatur. Trioscan AS.
73. Skjåkødegård, S., *Prisoverslag - Utskifting av lysarmaturer i driftsbygning*. 23. mai, Lom. 2018, El Service AS.
74. Stald, C., *E-postkommunikasjon*, T.M. Kummen, Editor. 2018: Installasjon av solceller på Kummen gård. Solcellespesialisten.
75. Enova, *E-postkommunikasjon*. 01.09.2017, Marta Hetland: Enova.no.
76. Enova *Liste over predefinerte tiltak og minimumskrav (Støtte til eksisterende bygg)*. Gyldig per 12.05.2017, 2017.
77. Enova SF. *Kriterier for støtte til el-produksjon*. Solenergi: El-produksjon 2016.
78. Innovasjon Norge. *Gardsvarmeanlegg: Informasjon*. 2018 [cited 2018 02.05]; Available from: <https://www.innovasjon norge.no/contentassets/6d7046b165d340fa91f2a67e7714133d/gardsvarmeanlegg-2018.pdf>.
79. Mads Mysen, K.P. *Energieffektiv viftedrift. Prosjekteringsveiledning*. Byggforsk, Norges byggforskningsinstitutt: Prosjektrapport 303, 2001.

80. Knut Egil Bøe, *E-postkommunikasjon*. 2017: Professor ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, NMBU. Fakultet for biovitenskap. Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap.
81. Jørgen Kongsro, *Telefonsamtale*, T.M. Kummen, Editor. 2017: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, NMBU. Fakultet for biovitenskap. Institutt for husdyr- og akvakulturvitenskap.
82. Joerg Mayer, T.M.D., *Clinical Veterinary Advisor - E-Book: Birds and Exotic Pets: Body Surface Area Conversions Using the Meeh Coefficients*. 2012, Elsevier Health Sciences.
83. STENI. *Technical Datasheet: STENI Nature C*. steni.com 2017 [cited 2017 02.11]; Available from: http://www.steni.no/docs/steni.no/02_teknisk%20dokumentasjon/teknisk%20databled/technical%20datasheet%20steni%20nature%20c.pdf.
84. SINTEF. *Teknisk godkjenning*. SINTEF Certification: Steni bygningsplater 2014 [cited 2017 02.11]; Available from: http://www.steni.no/docs/steni.no/01_produkt-%20og%20branngodkjenninger/sintef%20teknisk%20godkjenning%20steni%20fasadeplater.pdf.
85. Bakke, J.A. *Ytelseserklæring (DoP): Nr. 3410 - CPR - 001*. Glava Isolasjon 2016 [cited 2017 02.11]; Available from: <http://media.glava.net/mediabank/store/10874/DoP-3410-CPR-001-Glava-PROFF-34-Plate.pdf>.
86. GLAVA Isolasjon, *Glava Blåseull. Produktdata. Materiale: Granulert glassull. Blad 419*. 2014.
87. SINTEF Byggforsk, *471.010: Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer*. 2003: Byggforskserien.
88. EQUA Simulation AB, *IDA Indoor Climate and Energy. Version 4.7.1, in Expert edition. Educational license*. 2016.
89. Glava EPS. *Sikkerhetsdatablad: Glava EPS*. Eco Publisher 2015 [cited 2017 02.11]; Available from: <https://media.glava.net/mediabank/store/7185/Sikkerhetsdatablad-Glava-EPS.pdf>.
90. SINTEF Byggforsk, *471.231: U-verdier for vegger over terreng. Grunnlag for beregninger*. 2014: Byggforskserien.
91. SINTEF Byggforsk: *Byggdetaljer, 573.121: Materialer til luft- og damptetting*. 2003: Byggforskserien.
92. Leca Norge AS, *Leca: Lettklinker til bygg*. 2017: Brosjyre.
93. Løvås, G.G., *Statistikk for universiteter og høyskoler*. Vol. 2. 2004: Universitetsforlaget. 489.
94. Kozak, M., *What is Strong Correlation? Teaching Statistics*. Warsaw University of Life Sciences, Poland., 2009. **31**.
95. Lundström, L. *Shiny weather data. Interactive map*. 2017 [cited 2018 05.02]; Available from: <https://rokka.shinyapps.io/shinyweatherdata/>.
96. Direktoratet for byggkvalitet, *Byggteknisk forskrift (TEK17). Kapittel 14 Energi: § 14-3. Minimumskrav til energieffektivitet*. 2017: dibk.no.

Vedlegg A: Materialer i vegg, gulv og tak i fjøs

VEGG

Førsteetasje fjøs (trekledning):

Materiale	Tetthet [kg/m³]	Spesifikk varmekapasitet [J/(kg*K)]	Termisk konduktivitet, λ [W/mK]	Tykkelse [mm]
Innvendig Steniplater	1900	1000	0,55	6
Mineralull	16,5	750	0,034	100
Trepanel	600	2300	0,12	19

Førsteetasje fjøs (betong):

Materiale	Tetthet [kg/m³]	Spesifikk varmekapasitet [J/(kg*K)]	Termisk konduktivitet, λ [W/mK]	Tykkelse [mm]
Betong	2400	880	2	150
Luft	1,2	1000	0,024	150
Betong	2400	880	2	150

Kjeller mot grunn:

Materiale	Tetthet [kg/m³]	Spesifikk varmekapasitet [J/(kg*K)]	Termisk konduktivitet, λ [W/mK]	Tykkelse [mm]
Betong	2400	880	2	250
Ekspandert polysteren (EPS)	30	800	0,064	50

Kjeller:

Materiale	Tetthet [kg/m³]	Spesifikk varmekapasitet [J/(kg*K)]	Termisk konduktivitet, λ [W/mK]	Tykkelse [mm]
Betong	2400	880	2	250

GULV

Mot grunn og etasjeskiller:

Materiale	Tetthet [kg/m³]	Spesifikk varmekapasitet [J/(kg*K)]	Termisk konduktivitet, λ [W/mK]	Tykkelse [mm]
Betong	2400	880	2	120
Ekspandert polysteren (EPS)	30	800	0,064	50

TAK

Vestlige delen:

Materiale	Tetthet [kg/m³]	Spesifikk varmekapasitet [J/(kg*K)]	Termisk konduktivitet, λ [W/mK]	Tykkelse [mm]
Takplater (brick)	1500	840	0,58	0,015
Mineralull (løs)	17,5	750	0,043	200
Mineralull	16,5	750	0,034	150
Stålplater	7800	460	50	0,005

Midterste delen:

Materiale	Tetthet [kg/m³]	Spesifikk varmekapasitet [J/(kg*K)]	Termisk konduktivitet, λ [W/mK]	Tykkelse [mm]
Takplater (brick)	1500	840	0,58	0,015
Mineralull	16,5	750	0,034	200
Trepanel	500	2300	0,13	13

Østlige delen:

Materiale	Tetthet [kg/m³]	Spesifikk varmekapasitet [J/(kg*K)]	Termisk konduktivitet, λ [W/mK]	Tykkelse [mm]
Stålplater	7800	460	50	0,005
Trestendere	1800	790	0,8	100

Vedlegg B: Materialer i vegg, gulv og tak i bolighus

VEGG

Første- og andreetasje:

Materiale	Tetthet [kg/m³]	Spesifikk varmekapasitet [J/(kg*K)]	Termisk konduktivitet, λ [W/mK]	Tykkelse [mm]
Vekselpanel	500	2300	0,13	13
Papp (diffusjonstett)	600	800	0,33	20
Mineralull	16,5	750	0,034	100
Papp	600	800	0,33	10
Tømmermannspanel	600	2300	0,12	19

Basseng:

Materiale	Tetthet [kg/m³]	Spesifikk varmekapasitet [J/(kg*K)]	Termisk konduktivitet, λ [W/mK]	Tykkelse [mm]
Teglstein	2150	900	0,62	100
Plast	0,06	800	0,005	0,15
Mineralull	16,5	750	0,034	100
Papp	600	800	0,33	10
Trepanel	600	2300	0,12	19

Kjeller:

Materiale	Tetthet [kg/m³]	Spesifikk varmekapasitet [J/(kg*K)]	Termisk konduktivitet, λ [W/mK]	Tykkelse [mm]
Trepanel	500	2300	0,13	13
Betong	2400	880	2	150
Leka-kuler	245	750	0,11	100
Betong	2400	880	2	150

GULV

Mot grunn:

Materiale	Tetthet [kg/m³]	Spesifikk varmekapasitet [J/(kg*K)]	Termisk konduktivitet, λ [W/mK]	Tykkelse [mm]
Betong	2400	880	2	150
Lekakuler	245	750	0,11	100

TAK

Våningshus:

Materiale	Tetthet [kg/m³]	Spesifikk varmekapasitet [J/(kg*K)]	Termisk konduktivitet, λ [W/mK]	Tykkelse [mm]
Takplater	500	2300	0,13	13
Luft	1,2	1000	0,024	50
Papp	600	800	0,33	10
Mineralull	16,5	750	0,034	100
Trepanel	500	2300	0,13	13

Basseng:

Materiale	Tetthet [kg/m³]	Spesifikk varmekapasitet [J/(kg*K)]	Termisk konduktivitet, λ [W/mK]	Tykkelse [mm]
Lecablokker	1000	750	0,38	
Papp	600	800	0,33	10
Mineralull	16,5	750	0,034	100
Plast	0,06	800	0,005	0,15
Takplater (brick)	1500	840	0,58	0,015

Vedlegg C: Kostnadsestimat for solcelleanlegg

Installasjon på låvetaket

Solcellepaneler 72 stk	Poly 270 Wp	85 053 kr
Vekselretter	For 3~ IT-nett	24 674 kr
Montasjesystem	Integrert system	58 725 kr
Kabler		3 001 kr
Montasje		50 118 kr
SUM eks mva		221 571 kr
SUM inkl mva		276 964 kr

Installasjon på låvetaket og nye fjøstaket

Solcellepaneler 168 stk	Poly 270 Wp	194 224 kr
Vekselretter	For 3~IT-nett	58 818 kr
Montasjesystem	Integrert + trapes	83 133 kr
Kabler		9 003 kr
Montasje		97 188 kr
SUM eks mva		442 366 kr
SUM inkl mva		552 957 kr

Installasjon på låvetaket, nye fjøstaket og garasjetaket

Solcellepaneler 202 stk	Poly 270 Wp	233 531 kr
Vekselretter	For 3~ IT-nett	75 890 kr
Montasjesystem	Integrert + trapes	92 135 kr
Kabler		10 203 kr
Montasje		125 040 kr
SUM eks mva		536 800 kr
SUM inkl mva		671 000 kr

Vedlegg D: Predefinerte tiltak for støtte til eksisterende bygg

Liste over predefinerte tiltak og minimumskrav (Støtte til eksisterende bygg)

Gjeldig per 12.05.2017

Predefinerte tiltak, energiproduserende tiltak

Nr	Tiltak	Minimumskrav	Referanseinvestering
1	Energioppbeholdningssystem	Måling av ukemiddeldetemperatur. Utenligg avledning av energiforbruk. Utenligg registrering i ET-kurve. Rapportering til eier. Ved flere enn 2 byggløsninger kreves vedtatt energioppbeholdningsprogram.	Merkostnaden er lik totalkostnad.
2	Eterisolerende ytertak og tak mot kaldt loft	U-verdi $\leq 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$	Referansekostnaden er knyttet til kostnaden for kun isolering. Ikke utbedring av søve taket. Merkostnad vil være mindre enn totalkostnaden som inkludert både utbedring av tak og eterisolering.
3	Eterisolerende gulv / etasjeskille	U-verdi $\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$	Referansekostnaden er knyttet til kostnaden for kun isolering. Ikke utbedring av gulv/etasjeskille. Merkostnaden vil være mindre eller lik totalkostnaden avhengig av nødvendigheten av tilleggsarbeid utover eterisoleringen.
4	Eterisolerende yttervegger m/til. tetting	U-verdi $\leq 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$	Referansekostnaden er knyttet til kostnaden for kun isolering. Ikke utbedring av fasa delvegg. Merkostnaden vil være mindre enn totalkostnaden når fassadelvegg oppgraderes eller utbedring er påkrevd av andre årsaker enn eterisoleringen.
5	Utbedring vinduer m/til. tetting	U-verdi $\leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$	Referansekostnaden er kostnaden for vinduer med U-verdi 1,2. Merkostnaden er kostnadsdifferansen mellom installering av vinduer med U-verdi lik 0,8 sammenlignet med vinduer med U-verdi 1,2.
6	Vannbeparende dusjarmaturer ¹	Maksimum varmenngde $\leq 10 \text{ l/min.}$	Merkostnaden er lik totalkostnad.
7	Vannrensing / vannbehandling i vannanlegg i kombinasjon med innregulering ¹	Permanent vannbehandlingsanlegg, engangsrensing støttes ikke. Forutseltes at anlegget innreguleres.	Merkostnaden er lik totalkostnad.
8	Termisk isolering av rør og deler i energisentraler ²	Kun i energisentral. Det støttes kun ledningsprodukter med robust overflate og som er prefabrikkert til bruk som termisk isolering av rør og deler.	Merkostnaden er lik totalkostnad.
9	Ny shunt-/uletemperaturregulering ¹	Ny shuntventil med ulemperaturregulering basert på utetemperatur. Utsyring for temperatursenkning utenfor budsjett (Talsenking).	Merkostnaden er lik totalkostnad.
10	Vannrensing/vannbehandling i kjøleanlegg i kombinasjon med innregulering ¹	Permanent vannbehandlingsanlegg, engangsrensing støttes ikke. Forutseltes at anlegget innreguleres.	Merkostnaden er lik totalkostnad.
11	Utenligg sidskjerming ¹	Statiske og dynamiske systemer. Dynamiske må ha automatisk styring. Separate system fra vinduet. Gulvareal som dekkes av sidskjerming må ha mekanisk kjøling.	Merkostnaden er lik totalkostnad.
12	Vannregulering i ventilasjonsanlegg ¹	Vannreguleringer skal ha minimum 80% temperaturutviklingsgrad.	Merkostnaden er lik totalkostnad.
13	Fordeling SFP ¹	SFP $\leq 2 \text{ kW/m}^2\text{S}$.	Referansekostnaden er investering i Viter osv, som ikke tilfredssettes kravet om SFP $\leq 2 \text{ kW/m}^2\text{S}$. Merkostnaden er differansen mellom totalkostnaden for tiltaket og kostnaden ved alternativinvesteringen.
14	Borovsyring VAV ¹	Luftefugne reguleres automatisk i forhold til tilstedeværelse og/eller luftevolum. Temperaturutviklingsgrad varmenngver minimum 80%.	Merkostnaden er lik totalkostnad.
15	Lysstyring	Integreerte systemer med styring både eller tilstedeværelse og dagslys. For soner uten vindudagslys er det ikke krav om dagslysstyring. Ved lysanlegg eldre enn 5 år kreves det utskifting til LED-armaturer.	Merkostnaden er lik totalkostnad.
16	Utskifting av armaturer til energieffektiv belysning	LED (ikke gammel sokkel)	Merkostnaden er lik totalkostnad.
17	Sentral drifskjott (SD-anlegg) ^{1, 2}	Anlegget skal minimum innebefatte overvaking og styring/regulering av vannanlegg og ventilasjonsanlegg.	Merkostnaden er lik totalkostnad.
18	Nedbørsstyring av svømmebasseng ¹	Utskifting av anlegg støttes kun når eksisterende anlegg er gjenerte enn 10 år. Anlegget skal kun tilføre den energimengde som skal til for å opprettholde svømmebasseng, samt ta hensyn til ferdigheten. Det stilles krav til temperaturer før samt snø og innløp.	Merkostnaden er lik totalkostnad.

¹ Tiltaket skal ikke på isen over predefinerte tiltak for kategoriene anslutt og byggløsning da det ikke er egnet for normale vinduer. Tiltaket kan legges inn som egendefinert tiltak.

² For bygg som skal deklare ny energisentral i tiltaket, da tiltaket forsvantes hvorvidt ved deklaring av ny energisentral.

Vannrensing, vannproduksjon og vannbæren varme

Nr	Tiltak	Minimumskrav	Referanseinvestering
1	Sølvame	-	
2	Filt	Vannesentral basert på flls. Anlegget skal være komplett og ny fra leverandør. Eksisterende vannledningsnett skal besiktes i Prosjektsammendrag.	Referansekostnaden er kostnaden til den alternative investeringen. Kostnadsforskjellen er merkostnad. Kostnader for internt distribusjonssystem holdes utenfor.
3	Pellets	Vannesentral basert på pellets. Anlegget skal være komplett og ny fra leverandør. Eksisterende vannledningsnett skal besiktes i Prosjektsammendrag.	
4	Bjelker	Vannesentral basert på bjelker. Anlegget skal være komplett og ny fra leverandør. Eksisterende vannledningsnett skal besiktes i Prosjektsammendrag.	
5	Varmepumpe, luft-vann	Vannesentral basert på varmepumpe (luft/vann). Anlegget skal være komplett og ny fra leverandør. Eksisterende vannledningsnett skal besiktes i Prosjektsammendrag. Strøm- og varmenngdemaling er obligatorisk.	Referansekostnaden er kostnaden til den alternative investeringen. Kostnadsforskjellen er merkostnad. Kostnader for internt distribusjonssystem holdes utenfor. Kostnader ved energimåling, og evt. boring kan inkluderes i dette kostnadsgrunnlaget.
6	Varmepumpe, væske-vann	Vannesentral basert på varmepumpe (væske/vann). Anlegget skal være komplett og ny fra leverandør. Eksisterende vannledningsnett skal besiktes i Prosjektsammendrag. Strøm- og varmenngdemaling er obligatorisk.	Merkostnaden er lik totalkostnad.
7	Konvertering til vannbæren varmebæret i fjerntvarme.	Gjelder kun der varme kjøpes fra eksisten leverandør og hvor dette dekker hele oppvarmingsbehovet	Merkostnaden er lik totalkostnad.
8	Konvertering til vannbæren varmebæret i ventilasjonsanlegg. Tiltaklyses fjerntvarme.	Gjelder kun der varme kjøpes fra eksisten leverandør og hvor dette dekker hele oppvarmingsbehovet	Merkostnaden er lik totalkostnad.