

Teknologi og driftsmoduser for å redusere energi- og effektbruk i omsorgssenter

Liv Irene Vatnestrøm Svendsen

Master i energibruk og energiplanlegging

Innlevert: juni 2018

Hovedveileder: Hans Martin Mathisen, EPT

Medveileder: Monica Berner, Enova

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for energi- og prosessteknikk

EPT-M-2018-91

MASTEROPPGAVE

for

Student Liv Irene Vatnestrøm Svendsen

Våren 2018

Teknologi og driftsmoduser for å redusere energi- og effektbruk i omsorgssenter*Technology and operating modes to reduce energy and power consumption in a care center***Bakgrunn**

Variable og økte kraftpriser (både time og sesong) vil føre til behov for ny teknologi, driftsmoduser, lagring/akkumulering for både elektrisk kraft og termisk energi i bygninger og nabolag. Hva slags teknologi og driftsmoduser er mest fordelaktige basert på en energi-, økonomisk- og livssyklustilnærming?

Studien bør fortrinnsvis være basert på timesmålinger for energidata et sykehjem med PV og varmepumpe (Eidet i Haram kommune). Eidet omsorgssenter er et Enova-prosjekt. Studenten må bygge en modell av bygningen ved bruk av IDA ICE for å simulere forskjellige løsninger og driftsmoduser.

Mål

Målet med oppgaven er å finne økonomisk lønnsomme løsninger for å redusere energibruk, effekttopper og utslipp av drivhusgasser, uten negative påvirkninger på innklimaet. Arbeidet knyttes til en case-bygning.

Opgaven er en videreføring av kandidatens fordypningsprosjekt.

Opgaven bearbeides ut fra følgende punkter:

1. Oppdatere litteraturstudien som ble gjennomført i fordypningsprosjektet
2. Videreutvikle og oppdatere simuleringsmodell for Eidet omsorgssenter, som ble utarbeidet i fordypningsprosjektet, til bruk for simulering av casebygninger.
3. Innhente flere data fra casebygningen og eventuelt sette i gang nye målinger.
4. Sammenligne simulert energi- og effektbruk av casebygningen med målinger og med bygningsstatistikk
5. Foreslå tiltak for å redusere energibruk og effekttopper i tråd med målene for oppgaven
6. Evaluere resultater

” - ”

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 velskrevet. 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 bearbeidet, 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 reglemerter 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 prosesssteknikk.

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, instituttnavn, 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, strømningssteknikk, varmeteknikk)
 Feltarbeid

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



Hans Martin Mathisen
Faglig ansvarlig/veileder

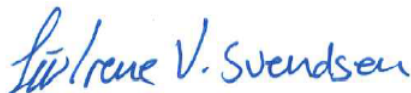
Medveileder(e):
Monica Berner, ENOVA

Forord

Masteroppgaven er et resultat av arbeid i faget TEP4921 "Energibruk og energiplanlegging - Varmeenergi, masteroppgave" ved institutt for Energi og Prosessteknikk. Oppgaven skrives som avsluttende oppgave for det toårige masterprogrammet "Energibruk og energiplanlegging" ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim.

Rapporten inneholder et litteraturstudie om alternative teknologier og driftsmodus for å redusere energi- og effektbruk i omsorgssenter og inneklimate faktorer som er viktige for brukerne av bygget. I tillegg inneholder rapporten simuleringer av tiltakspakker i programmet IDA ICE. Utgangspunkt for beregningene er casebygningen Eidet omsorgssenter, som har mottatt investeringsstøtte fra Enova. Oppgaven er skrevet som et samarbeid mellom Enova og NTNU.

Takk til veileder Hans Martin Mathisen og ekstern veileder fra Enova Monica Berner for rettledning med oppgaven og gode innspill. I tillegg vil jeg takke Enova for å få muligheten til å jobbe med en reell og spennende case. Videre vil jeg takke Rolf Arne Tennø og Per Martin Leinan i Haram kommune for god hjelp med informasjonsinnhenting, befaring og veiledning i forbindelse med prosjektet på Eidet omsorgssenter. Befaringen på omsorgssenter var til god hjelp i forståelsen av oppgaven, og oppbyggingen av funksjonene og systemene på omsorgssenteret. Jeg vil også gjerne takke venner og familie for gode innspill, korrektur og hjelp til oppgaven.



Liv Irene Vatnestrøm Svendsen, MSc student
Trondheim, 12. juni 2018

Sammendrag

Sykehus og omsorgsbygg er energiintensive bygninger, og det vil være et stort potensial for besparelse av energi- og effektbruk i denne typen bygninger. En økende andel av variabel fornybar energi og økning i effektkrevende apparater har ført til et behov for større fleksibilitet til strømmettet, som blant annet kan oppnås ved å implementere tiltak på forbrukersiden. Til tross for potensial vil en stor barriere for energibesparelse for sykehjem i dag, være lite kunnskap om muligheten for energibesparelse.

Opgaven er skrevet i samarbeid med Enova med utgangspunkt i Eidet omsorgssenter, i Haram kommune, som er et Enova forbildeprosjekt. Formålet med oppgaven har vært å undersøke mulig teknologi og driftsmoduser for å redusere energi- og effektbruk for omsorgssenter, uten negative påvirkninger på inn klima og miljø.

Det ble først gjennomført litteratursøk der det ble undersøkt mulige tiltak for å redusere energi- og effektbruk for omsorgssenter. Ettersom det per i dag er lite forskning på energi-effektivitet for omsorgssenter, ble det undersøkt tiltak for sykehus og boliger, i tillegg til sykehjem der dette var mulig. Det ble i tillegg gjennomført litteratursøk på viktige faktorer for inn klima for et omsorgssenter, der det ble lagt vekt på faktorer knyttet til termisk, atmosfærisk og aktinisk inn klima. Ut fra funksjonen for et omsorgssenter vil det være viktig å vurdere inn klima i evalueringen av tiltak for å redusere energi- og effektbruk.

Bakgrunn for dimensjonering av tappevann for sykehjem ble også undersøkt i oppgaven. Ut fra litteratur vises det til mangel på kunnskap og et varierende grunnlag som ofte resulterer i feil ved dimensjoneringen av tappevann. Det er imidlertid startet et prosjekt kalt VarmtVann2030 for å opparbeide mer kunnskap om bruk av tappevann for sykehjem.

Opgaven ble videre delt inn i tre deler: 1) Tilstandsanalyse av Eidet omsorgssenter, der det ble opparbeidet en modell i IDA ICE for simulering av energi- og effektbruk for bygget, i tillegg til evaluering av temperaturmålinger fra sykehjemmet og spørreundersøkelse om inn klima blant de ansatte. 2) Opparbeidelse av en basemodell med utgangspunkt i Eidet omsorgssenter i IDA ICE for simulering av tiltak for å redusere energi- og effektbruk for sykehjem. Det ble valgt ut 10 tiltak for simulering av den generelle bygningskroppen med tre forbedringsnivå for hvert tiltak. Videre ble det etablert en matrise over mulige tiltakspakker for simulering, der metoden for fractional factorial designs ble benyttet for å velge ut tiltakspakker til simulering. 3) Ut fra resultatene fra simulering av tiltakene på den generelle bygningskroppen ble det valgt ut 10 tiltakspakker basert på evaluering av energibruk, maksimal effekt og inn klima. I tillegg ble det bestemt tre tiltakspakker for oppvarming, kjøling og fornybar energiproduksjon, som ble satt sammen med de 10 utvalgte tiltakspakkene fra simuleringer av generelle tiltakspakker for å evaluere den totale besparelsen av energi- og effektbruk. Resultatet fra simuleringene ble vurdert ut fra energibruk, maksimal effekt, inn klima, kostnadsberegninger og påvirkningen på klima.

Simuleringene av tiltakspakker viste at det var ventilasjonssystemet og tiltak tilknyttet et effektivt ventilasjonssystem som hadde størst påvirkning på energi- og effektbruken for tiltakspakkene. Videre viste resultatene at implementering av et effektivt system for

oppvarming, kjøling og fornybar energiproduksjon ville ha et stort potensial for ytterligere besparelse av energi- og effektbruk.

Arbeidet med oppgaven har vist at størrelsen av påvirkningen på energi- og effektbruken for individuelle tiltak vil avhenge av sammensetningen av tiltakspakkene. I tillegg er det viktig å tenke på at besparelsen av energibruk for tiltakspakker ikke tilsvarer summen av energibesparelsen for individuelle tiltak. Videre viser simuleringene av tiltakspakker at det ikke nødvendigvis er tiltakspakken med de beste forbedringsnivåene innen samtlige kategoriene som utgjør det beste resultatet totalt. Vurdering av energi- og effektbruk bør dermed baseres på sammensatte tiltakspakker for å undersøke den reelle påvirkningen.

Abstract

Hospitals and other healthcare facilities are energy-intensive buildings, and there will be a great potential for saving energy and power usage in this type of buildings. An increasing share of variable renewable energy and increase in power-consuming devices has led to a need for greater flexibility to the power grid, which can be achieved by implementing measures on the consumerside. Despite potential, a major barrier to energy saving for nursing homes today will be lack of knowledge for the possibility of energy saving.

The assignment is written in cooperation with Enova, based on Eidet omsorgssenter, in Haram municipality. The purpose of the assignment has been to investigate possible technology and operating modes to reduce energy and power consumption for the nursing home, without affecting the indoor climate or the environment.

A literature review was first conducted to analyse possible measures to reduce energy and power consumption for nursing homes. As there is currently little research on energy efficiency for nursing homes, measures were investigated for hospitals and residential buildings, as well as nursing homes where this was possible. In addition, a literature review was conducted on important factors for indoor climate for nursing homes, emphasizing thermal comfort, indoor air quality and actinic indoor climate. Based on the function of a nursing home, it will be important to assess factors for indoor climate when evaluating measures for energy efficiency.

Literature related to design of hot tap water for nursing homes was also investigated. Literature shows a lack of knowledge that might result in errors in the design of hot tap water. However, a project called VarmtVann2030 has been initiated to develop more knowledge about the use of hot tap water for nursing homes.

The assignment is divided into three parts: 1) state-of-the-art analysis of Eidet omsorgssenter, where a model was developed in IDA ICE to simulate the energy and power consumption for the building, as well as evaluation of temperature measurements from the nursing home and a survey of indoor climate. 2) Preparation of a base model based on Eidet omsorgssenter in IDA ICE for simulation of measures to reduce energy and power consumption for the nursing home. There were selected 10 measures for simulation of the general building body with three improvement levels for each measure. Furthermore, a matrix was established with possible simulation measures, where fractional factorial design was used to select simulation measures. 3) Based on the results from simulation of measures on the general building body, 10 measures were selected based on evaluation of energy consumption, maximum power and indoor climate. In addition, three measures for heating, cooling and renewable energy production were identified, and assembled with the 10 selected measures from simulations of general measures to evaluate the total savings of energy and power consumption. The results from the simulations was evaluated based on energy consumption, maximum power, indoor climate, cost estimates and climate impact.

The simulations showed that measures related to the efficiency of the ventilation system had the greatest impact on energy and power consumption. Furthermore, the results showed that the implementation of an efficient system for heating, cooling and renewable energy

could have a great potential for further energy and power consumption savings.

Results for the task has shown that the size of the impact on energy and power consumption for individual measures will depend on the combination with other measures. In addition, it is important to be aware that the reduction in energy consumption for measures do not correspond to the sum of energy savings for individual measures. Furthermore, the simulations of measures show that it is not necessarily the measures with the best improvement levels within all the categories that make up the best overall result. In assessing the use of energy and power consumption, measures should therefore be assembled to be able to investigate the real impact from the measures.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	iii
Abstract	v
Figurer	xii
Tabeller	xv
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	2
1.2 Problemstilling	3
1.3 Fremgangsmåte	3
1.4 Prioritering og begrensninger	4
2 Metode	5
2.1 Litteratursøk	5
2.2 Innhenting av måledata og informasjon	6
2.2.1 Befaring på Eidet omsorgssenter	6
2.2.2 Spørreundersøkelse blant ansatte på Eidet omsorgssenter	7
2.3 Beregninger og simulering	7
2.3.1 Simulering av tiltakspakker	7
2.3.2 Sammenligning og evaluering av tiltakspakker	11
2.4 Oppbygging av oppgaven	11
3 Beregninger og dimensjonering	13
3.1 Dimensjonering av energibehov for tappevann	13
3.1.1 Erfaringstall for energibruk til tappevann	13
3.1.2 Beregning av effektbehov for tappevann	15
3.1.3 VarmtVann2030	15
3.1.4 Tiltak for å redusere energibruk til tappevann	16
3.2 Statistikk	16
3.2.1 Korrelasjon	16
3.3 Beregning av energibruk	16
3.3.1 Forskrifter og standarder	17
3.4 Økonomiske beregninger	17
3.4.1 Kostnad for installasjon av solceller	18
3.4.2 Kostnad for installasjon av solfangeranlegg	19
3.4.3 Kostnad for installasjon av grunnvarmepumpe	20
3.4.4 Beregning av energikostnad for næringsbygg	20

3.5	Evaluering av klimapåvirkning	21
3.5.1	Nullutslippsbygg	21
3.5.2	Beregning av redusert klimagassutslipp til bruksfasen av bygget	21
4	Inneklima i omsorgssenter	23
4.1	Inneklimaparametre	23
4.2	Termisk miljø	24
4.2.1	Termisk komfort blant eldre	24
4.2.2	Krav til termisk inneklima	26
4.3	Atmosfærisk miljø	27
4.3.1	Krav til atmosfærisk miljø	28
4.3.2	Utforming av ventilasjonsanlegg	28
4.4	Aktinisk miljø	29
4.4.1	Synet og aldring	29
4.4.2	Krav til aktinisk miljø	30
4.5	Evalueringkriterier for inneklima av tiltakspakker	30
5	Energibruk for omsorgssenter	31
5.1	Potensiale for energibesparelse	31
5.2	Forbruksmønster for omsorgssenter	32
5.3	Energieffektivisering av omsorgssenter	32
5.3.1	Tiltak for energieffektivisering	33
5.3.2	Forbedring av bygningskroppen	34
5.3.3	Energieffektivt oppvarmings- og kjølesystem	37
5.3.4	Fornybar energiproduksjon	37
5.3.5	Energieffektiv ventilasjon	41
5.3.6	Energieffektiv belysning	43
5.3.7	Energieffektiv solskjerming	43
5.3.8	Energibesparelse ved bevisstgjørelse og styringssystem	44
6	Effektbruk i omsorgssenter	45
6.1	Fleksibilitet i strømmettet	45
6.2	Reduksjon og forskyvning av effektbruk	46
6.3	Tiltak for å redusere effektbruk for omsorgssenter	47
6.3.1	Fornybar energiproduksjon og lagring av varme og energi	48
6.3.2	Lastutjevning med BTS og PCM	49
7	Presentasjon av Eidet omsorgssenter	51
7.1	Tekniske spesifikasjoner	52
7.1.1	Belysning og solskjerming	52
7.1.2	Energisentral	52
7.1.3	Varmtvannsanlegg	53
7.1.4	Oppvarmingssystem	53
7.1.5	Kjølesystem for komfortkjøling	54
7.1.6	Kjølemaskin	54
7.1.7	Ventilasjonsanlegg	55

7.2	Fornybar energiproduksjon	55
7.2.1	Solenergi	55
7.2.2	Bergvarmepumpe	56
7.3	Utstyr for måling og registrering av forbruk	57
8	Oppbygging av modell i IDA ICE	59
8.1	Valg av simuleringsverktøy	59
8.1.1	Validering av IDA ICE	60
8.2	Modellering av Eidet omsorgssenter	60
8.2.1	Klima og orientering	60
8.2.2	Geometri	61
8.2.3	Oppbyggingen av konstruksjon	61
8.2.4	Soneinndeling	62
8.2.5	Tidsplaner og interne varmetilskudd	63
8.2.6	Tekniske anlegg	64
8.2.7	Oppbygging av ESBO plant	65
8.3	Oppbygging av basemodell	67
8.3.1	Tiltak for evaluering av klimaskjerm og ventilasjon	68
8.3.2	Tiltak for fornybar energiproduksjon, oppvarming og kjøling	70
8.4	Klimakorrigerende av energibruk	72
8.4.1	Graddagskorrigerende	72
8.4.2	Månedstemperaturkorrigerende	72
8.4.3	Full værkorrigering	73
9	Resultat	75
9.1	Temperaturkorrigerende	75
9.2	Energi - og effektbruk på Eidet omsorgssenter	76
9.2.1	Simulert energibruk i IDA ICE	76
9.2.2	Energibruk fra SIMIEN beregninger	79
9.2.3	Målt energibruk	80
9.2.4	Oversikt over energibruk	81
9.2.5	Målt og simulert effektbruk for Eidet omsorgssenter	83
9.3	Spørreundersøkelse om inneklimate	84
9.4	Temperaturmålinger på Eidet omsorgssentert	87
9.5	Evaluering av generelle tiltakspakker	88
9.5.1	Sammenligning av energibruk og maksimal effekt	88
9.5.2	Sammenligning av inneklimate	91
9.6	Evaluering av løsninger for oppvarming og kjøling	93
9.6.1	Vurdering av endelig energibruk og maksimal effekt	93
9.6.2	Vurdering av inneklimate for tiltak med oppvarming og kjøling	94
9.7	Kostnadsberegninger	95
9.8	Påvirkning på miljø	97
9.9	Totalvurdering av tiltakspakker	98

10	Diskusjon	101
10.1	Tilstandsanalyse	101
10.1.1	Simulering av energi- og effektbruk på Eidet omsorgssenter	101
10.1.2	Vurdering av energieffektivitet for Eidet omsorgssenter	103
10.1.3	Totalt forbruk og produksjon av elektrisitet	103
10.1.4	Temperaturmålinger og spørreundersøkelse	103
10.2	Varmtvann	105
10.3	Sammenligning av tiltakspakker	105
10.3.1	Valg av forbedringsnivå for generelle tiltak	106
10.3.2	Valg av tiltakspakker til videre simulering	107
10.3.3	Valg av tiltak for oppvarming, kjøling og fornybar energi	107
10.3.4	Evaluerings av inneklime	108
10.3.5	Kostnadsberegninger	109
10.3.6	Klimapåvirkning	110
10.4	Brukte metoder	111
10.4.1	Litteraturstudie	111
10.4.2	Fractional factorial designs	111
10.4.3	Simulering og forenklinger i IDA ICE	112
10.4.4	Inneklime og energieffektivisering	112
11	Konklusjon	113
12	Videre arbeid	115
	Vedlegg	125
A	Spørreundersøkelse om inneklime	A-1
B	Utdyping av generelle tiltakspakker	B-1
C	Beregning av reelle verdier for varmtvann og belysning	C-1
D	Økonomisk beregning av tiltak for oppvarming og kjøling	D-1
E	Systemskjema rør	E-1
F	Plantegning	F-1
G	Tidsplaner	G-1
H	Beregning og utdyping av tiltak for oppvarming og kjøling	H-1
I	Temperaturkorrigering	I-1
J	Resultat av generelle tiltakspakker	J-1
K	Resultater fra simulering av oppvarming og kjøling	K-1
L	Risikovurdering	L-1

Figurer

2.1	Oversikt over mulige tiltakspakker og utvalgte tiltakspakker for simulering	10
4.1	Operativ temperatur ut fra aktivitetsnivå og grad av bekleddning	25
5.1	Reduksjon i u-verdi ved økt isolasjonstykkelse	36
5.2	Vinkel for solinnstrålingen for Eidet omsorgssenter	40
5.3	Solinnstråling for Eidet omsorgssenter ved sørvendt orientering	41
6.1	Metoder for reduksjon og forskyvning av effektbruk	46
7.1	Eidet omsorgssenter	51
7.2	Energiproduksjon fra solceller og solfangere på Eidet omsorgssenter	56
7.3	Energimålere på Eidet omsorgssenter	57
7.4	Oversikt over berederanlegg i EMSweb	58
8.1	Oppbygd modell for Eidet omsorgssenter	61
8.2	Soneinndeling for 1. etasje i Eidet Omsorgssenter	63
8.3	Oversikt over oppbygging av ventilasjonsaggregat 1	64
8.4	Komponenter valgt for energisystemet på omsorgssenteret	66
8.5	Oppbyggingen av energisystemet	67
9.1	Utnyttet fri varmeenergi for Eidet omsorgssenter	78
9.2	Oversikt over totalt forbruk og produksjon av elektrisitet	79
9.3	Sammenligning av målt og simulert levert energi	82
9.4	Sammenligning av målt og beregnet elektrisk behov for Eidet omsorgssenter	83
9.5	Korrelasjon knyttet til aktivitetsnivå, bekleddning og temperatur	85
9.6	Korrelasjon over spørsmål tilknyttet luftkvalitet på Eidet omsorgssenter	86
9.7	Korrelasjon tilknyttet belysning, luftkvalitet og vondt i hodet	87
9.8	Oversikt over temperaturmålinger gjennomført på Eidet omsorgssenter	88
9.9	Oversikt over resultat av energi- og effektbruk for simulerte tiltakspakker	90
9.10	Oversikt over operativ temperatur for simulerte tiltakspakker	92
9.11	Totalt energibruk og maks effekt for evaluerte tiltakspakker	93
9.12	Evaluerte parametre av inn klima for tiltakspakker med oppvarming og kjøling	94
9.13	Lønnsomhetsvurdering av ulike tiltakspakker	95
9.14	Besparelse av klimagassutslipp for simulerte tiltak	97
9.15	Totalevaluering av tiltakspakker	98

A.1	Oversikt over aktivitetsnivå	A-3
A.2	Oversikt over bekledningens isolasjonsevne	A-4
E.1	Systemskjema rør	E-1
E.2	Systemskjema for kjølemaskin	E-2
E.3	Systemskjema for snøsmeltingsanlegg	E-3
E.4	Systemskjema for solfangeranlegg	E-4
E.5	Systemskjema for varmepumpeanlegg	E-5
E.6	Systemskjema for akkumulatortanker og varmtvannsanlegg	E-6
E.7	Systemskjema for ventilasjon tilknyttet oppvarming og kjøling	E-7
F.1	Plantegning for 1.etg på Eidet omsorgssenter	F-1
G.1	Tidsplan for personbelastning	G-1
G.2	Tidsplan for belysning	G-1
G.3	Tidsplan for teknisk utstyr	G-1
J.1	Oversikt over energibruk for simulering av generelle tiltakspakker del 1	J-4
J.2	Oversikt over energibruk for simulering av generelle tiltakspakker del 2	J-5
J.3	Oversikt over operativ temperatur for generelle tiltakspakker del 1	J-9
J.4	Oversikt over operativ temperatur for generelle tiltakspakker del 2	J-10

Tabeller

2.1	Beskrivelse av tiltak i matrisen	8
2.2	Beskrivelse av utvalg av tiltakspakker	9
3.1	Verdier for dimensjonering av energi- og effektbruk til tappevann for sykehjem	14
3.2	Erfaringstall for dimensjonering av varmtvann for sykehjem	15
3.3	Oversikt over styrkegraden for korrelasjon	16
3.4	oversikt over levetid for generelle tiltak	18
3.5	Inputverdier for beregning av nåverdi for installasjon av solcelleanlegg	19
3.6	Inputverdier for beregning av nåverdi for installasjon av solfangeranlegg	20
3.7	Inputverdier for beregning av nåverdi for installasjon av grunnvarmepumpe	20
4.1	Krav for evaluering av inneklimateiske forhold for simulerte tiltak	30
5.1	Spesifikt netto energibehov for sykehjem	32
5.2	Minimumskrav til energieffektivitet for ulike standarder	35
5.3	Årlig solinnstråling på sørvendt flate ved ulike vinkler	40
7.1	Fakta om Eidet omsorgssenter	52
7.2	Oversikt over verdier benyttet for solenergi	56
8.1	Inndata klima	60
8.2	Verdier for konstruksjonen til modellering	62
8.3	Oversikt over internlast	64
8.4	Temperatursettpunkt for oppvarming og kjøling på Eidet omsorgssenter	65
8.5	Tekniske spesifikasjoner for simulering	65
8.6	Oversikt over parametre benyttet til simulering av basemodell	67
8.7	Tiltak for bygningskroppen	68
8.8	Løsninger av ventilasjonssystem for sykehjem	69
8.9	Luftmengder for ventilasjon	69
8.10	Virkningsgrad og SFP for ventilasjonssystem	69
8.11	Tiltak for belysning og solskjerming	70
8.12	Oversikt over tiltakspakke 1	70
8.13	Oversikt over tiltakspakke 2	71
8.14	Oversikt over tiltakspakke 3	71
8.15	Beregnete basetemperaturer for ulike bygningsstandarder	73

9.1	Månedsmidlere temperatur, normert utetemperatur og temperaturkorrigeringsfaktor	76
9.2	Energibudsjett for den totale energibruken for Eidet omsorgssenter	77
9.3	Total energibruk og levert energi for Eidet omsorgssenter	77
9.4	Fornybar energiproduksjon for Eidet omsorgssenter	78
9.5	Netto levert energi fra SIMIEN beregninger	80
9.6	Energibudsjett fra SIMIEN beregninger utført av konsultentselskapet	80
9.7	Målt levert energi fra EMSweb og strømleverandør for Eidet omsorgssenter	81
9.8	Sammenligning av energibruk for ulike beregninger og sykehjem	82
9.9	Oversikt over ønskede og følte temperaturer på omsorgssenteret	84
9.10	Oversikt over påvirkningen fra forhold tilknyttet inneklimateknikk til ansatte	87
A.1	Ørebro-skjema 2	A-1
A.2	Spørsmål 1	A-1
A.3	Spørsmål 2	A-2
A.4	Spørsmål 3	A-2
A.5	Spørsmål 4	A-3
A.6	Spørsmål 5	A-4
A.7	Spørsmål 6	A-5
A.8	Spørsmål 7	A-6
A.9	Spørsmål 8	A-6
A.10	Spørsmål 9	A-7
A.11	Spørsmål 10	A-7
A.12	Spørsmål 11	A-8
A.13	Spørsmål 12	A-8
A.14	Spørsmål 13	A-9
A.15	Spørsmål 14	A-9
A.16	Spørsmål 15	A-10
B.1	Oversikt over første runde med tiltakspakker til simulering	B-1
B.2	Oversikt over andre runde med tiltakspakker til simulering	B-2
B.3	Oversikt over tredje runde med tiltakspakker til simulering	B-2
B.4	Oversikt over tiltakspakker simulert med forbedringsnivå 3	B-3
C.1	Beregning av reell energibruk til varmtvann for Eidet omsorgssenter	C-1
C.2	Beregning av reell energibruk til belysning for Eidet omsorgssenter	C-1
D.1	Oversikt over areal av ulike deler av bygningens kropp	D-1
D.2	Omregning av kostnad tilpasset levetid for tiltakspakken	D-1
D.3	Kostnad for generelle tiltak på bygningens kropp	D-2
D.4	Kostnad for fornybar energi	D-3
D.5	Kostnad for generelle tiltak Del 1	D-3
D.6	Kostnad for generelle tiltak Del 2	D-4
D.7	Total kostnad for tiltakspakker	D-5
H.1	Verdier for dimensjonering av varmepumpesystem for tiltakspakke	H-1
H.2	Energibruk og solinnstråling for Eidet omsorgssenter	H-1
I.1	Beregning av temperaturkorrigeringsfaktor	I-1
I.2	Temperaturkorrigert energibruk for Eidet omsorgssenter	I-2

J.1	Resultat av energi- og effektbruk for generelle tiltakspakker Del 1	J-1
J.2	Resultat av energi- og effektbruk for generelle tiltakspakker Del 2 og Del 3	J-2
J.3	Resultat av energi- og effektbruk for generelle tiltakspakker del Å	J-3
J.4	Resultat av inneklima for generelle tiltakspakker Del 1	J-6
J.5	Resultat av inneklima for generelle tiltakspakker Del 2 og 3	J-7
J.6	Resultat av inneklima for generelle tiltakspakker Del Å	J-8
K.1	Resultat av energi- og effektbruk for tiltakspakker med oppvarming og kjøling	K-1
K.2	Resultat av fornybar energiproduksjon for tiltakspakker med oppvarming og kjøling	K-2
K.3	Resultat av inneklima for tiltakspakker med oppvarming og kjøling	K-3
K.4	Resultat av beregning av nåverdi for tiltakspakker med oppvarming og kjøling	K-4
K.5	Resultat av klimagassberegninger for tiltakspakker med oppvarming og kjøling	K-5

Kapittel 1

Innledning

Energibruk til bygningsmassen står for omtrent 40 % av energibruken i Norge [1], i tillegg til omtrent 36 % av EU sine totale CO₂ utslipp i 2012 [2]. Potensialet for besparelse av energi er stort. Det vil dermed være viktig å dimensjonere energieffektivebygg som er trygge og av god kvalitet, med en lav energibruk og utslipp av klimagasser. [3]

En av de største barrierene for energibesparelse i offentlige bygg og husholdninger er mangelen på bevissthet og kunnskap om muligheter for besparelse. En investering i energieffektive tiltak vil potensielt kunne dekkes ved besparelse i fremtidige energikostnader for bygget. [4] Mulighetene for energieffektivisering er mange, og strengere forskriftskrav i tillegg til energisertifisering av bygg vil kunne være blant drivkreftene. [5] I tillegg vil det blant annet være et potensial for besparelse ved bruk av avanserte og effektive tekniske installasjoner, og bevisstgjøring og kunnskap om energieffektivitet. [3]

Utrulling av smarte målere, har lagt til rette for kontroll og kunnskap om energi- og effektbruk i tillegg til dynamisk prising, som kan bidra til motivasjon for å spare strøm. [6] Strømforbruket fra de smarte målerne blir registrert på timesbasis og informasjonen sendes til nettselskapene. Detaljert informasjon om strømforbruket vil gjøre at kundens avregning av forbruket blir mer nøyaktig, og gjøre det mulig å sikre en effektiv drifting av nettet. [7]

Ved bruk av apparater som krever mer effekt og produksjon fra fornybare energikilder, som vil være en variabel energikilde, blir belastningen på nettet større og det settes dermed større krav til fleksibilitet og drifting av nettet. [6] Fleksibilitet har tradisjonelt blitt sikret ved bruk av produksjon av energi fra flere kraftverk, eller ved utbygging av strømmettet. En alternativ metode for å øke fleksibiliteten for nettet vil være forbrukerfleksibilitet, der det gjøres tiltak på forbrukersiden for å redusere effektbruken. Tiltak vil kunne være utkobling eller forflytning av tidsplan for effektkrevende apparater, eller lagring av varme og elektrisitet, i tillegg til bruk av egenprodusert fornybar energi. [6, 8] En varierende energipris basert på effektbruken, gir i tillegg et stort potensiale til å redusere driftskostnadene ved å optimalisere energi- og effektbruk for bygget. [9]

1.1 Bakgrunn

Enova er et statlig foretak som jobber med omleggingen til lavutslippssamfunnet. Enova bidrar med rådgivning og økonomisk støtte for at prosjekter skal satse på innovativ og klimavennlig teknologi, og støtter prosjekter som velger mer energi- og klimavennlige løsninger. Midlene fra Enova kommer fra Energifondet, som igjen stammer fra avkastninger fra Klimateknologifondet. Et krav for å få støtte fra Enova er at gjennomføringen av prosjektet er avhenger av økonomisk bistand, og støtte skal da være tilstrekkelig til at prosjektet gjennomføres. [10]

Eidet omsorgssenter er et Enova forbildeprosjekt som har fått støtte for å gjennomføre ambisiøse energimål. Et forbildeprosjekt er et tiltak Enova har startet for å være med å påvirke og endre trendene i markedet, og få bygninger til å satse på mer energieffektive løsninger. [11]

Eidet omsorgssenter ligger på Eidet i Haram kommune. Omsorgssenteret ble bygget i 2016 og ble ferdigstilt i februar 2017. Bygget er på 7038 m² og består av 65 omsorgsboliger i bofelleskap med tilhørende fellesareal, i tillegg til 5 tilknyttede leiligheter. Omsorgssenteret er bygget etter passivhusstandard, og har en fornybar energiandel som dekker 90 % av netto varmebehov. [12] Taffjord kraft, som Haram kommune er en del av, har satt igang en satsing på ENØK-kartlegging og bevisstgjøring rundt energibruk. Programmet EnergiArena er rettet mot bedrifter og kommuner for å legge til rette for kostnadsfokus og energibesparelse. Deltakerne i programmet skal få opplæring i energiovervåking og bli bevisstgjort energibruk, i tillegg til at deltakerne får utdelt et energiovervåkingssystem. [13]

Helseinstitusjoner vil være kraftkrevende industri, og det vil være mulig å oppnå betydelig energi- og kostnadsbesparelse for denne bygningskategorien [14]. I vurderingen av energieffektive løsninger vil det imidlertid være viktig å inkludere faktorer for å sikre et godt innneklima, slik at besparelsen ikke går på bekostning av innemiljø og komfort. Brukerne av et omsorgssenter består hovedsaklig av eldre mennesker, som blant annet har en dårligere regulering av kroppstemperatur, og det vil dermed være viktig å vektlegge faktorer som termisk komfort og god luftkvalitet ved implementering av energieffektive tiltak. [15]

Det er i dag lite forskning innen energieffektivisering av omsorgssenter, og det vil dermed være behov for studier og forskning som legger vekt på reduksjon av energi- og effektbehov for sykehjem, samtidig som det legges vekt på at energieffektive tiltak opprettholder et godt innneklima og ikke har en negativ påvirkning på miljøet. [16]

1.2 Problemstilling

Masteroppgavens problemstilling blir å finne økonomisk lønnsomme løsninger med teknologi og styringssystem, for å redusere energi- og effektbruk i omsorgssenter uten at det går på bekostning av inneklime og miljø. Oppgaven skal belyse løsninger for å redusere energi- og effektbruk som vil være aktuelle for omsorgssenter. Videre skal tiltak for reduksjon av energi- og effektbruk simuleres i beregningsprogrammet IDA Indoor Climate and Energy (ICE), for å evaluere gode og energieffektive løsninger i tillegg til å øke fokuset på energieffektivisering av sykehjemsbygg. Oppgaven er et samarbeidsprosjekt mellom Enova og NTNU.

1.3 Fremgangsmåte

Oppgaven tar først for seg et litteraturstudie over dagens teknologier og løsninger, for å få oversikt over hvilke muligheter som finnes. Videre blir det dannet en modell av Eidet omsorgssenter på bakgrunn av innhentet data. Resultat fra simuleringer av Eidet omsorgssenter sammenlignes med energibruk for Økern sykehjem og bygningsstatistikk generelt for sykehjem. I tillegg etableres en basemodell med bakgrunn i informasjon for Eidet omsorgssenter for simulering av tiltak for sykehjem generelt. Case-bygningen og basemodellen modelleres i beregningsprogrammet IDA ICE.

Simuleringer av tiltak for energi- og effektbruk for basemodellen deles inn i to deler, der den første delen tar for seg simulering av generelle bygningstekniske tiltak, mens den andre tar for seg simulering av oppvarmings- og kjølesystem, i tillegg til implementering av fornybare energikilder. Tiltakene som velges ut til videre simulering fra den første delen, er vurdert ut fra besparelsen av energi- og effektbruk og inneklimeparametre ved simulering, der det ble valgt ut tiltakspakker til videre simulering fra de laveste energi- og effektnivåene fra simuleringen og vurdering av blant annet operativ temperatur. Resultatene fra videre simulering av utvalgte tiltakspakker i basemodellen blir deretter evaluert ut fra energi- og effektbruk, i tillegg til beregning av nåverdi og undersøkelse av påvirkningen på inneklime og miljø. Resultatene fra simuleringer og beregninger legges frem og diskuteres, før en konklusjon og videre arbeid blir presentert.

Rapporten lager en oversikt og belyser mulige tiltak for å energieffektivisere energibruken for omsorgssenter. Utvalgte tiltakspakker for energieffektivisering blir simulert i programmet IDA ICE for å undersøke hvilke tiltak som vil ha størst effekt på energibruken. Rapporten undersøker også mulige tiltak for å redusere eller forskyve effektbruk og effekttopper. Grunnet tidsbegrensninger og tidkrevende simuleringer blir tiltakene for lastutjevning og lastreduksjon ikke simulert i IDA ICE, men potensialet for besparelse undersøkes ut fra litteratursøk, og effekten av tiltakene bør undersøkes i videre arbeid med oppgaven.

1.4 Prioritering og begrensninger

I oppgaven har det blitt lagt vekt på å undersøke litteratur for boliger og sykehus ettersom det i arbeidet med litteratursøk har vist seg å være utfordrende å finne informasjon om energieffektivitet for sykehjem. Det har blitt gjennomført søk i databaser som blant annet Oria, Scopus, Science Direct (Elsevier), Medline og Google scholar med søkeord som "energy efficiency", "nursing homes", "efficiency" og "power consumption". De fleste resultatene for sykehjem innen disse søkeordene har vist seg å ikke være relevant for oppgaven. Det ble tatt utgangspunkt i sykehus ettersom det vil ha en del like funksjoner som sykehjem med drift hele døgnet og tilpasning etter brukerbehov. Sykehjem vil samtidig kunne inkluderes i kategorien boliger ettersom det innehar en boligfunksjon.

Det har blitt gjort enkelte forenklinger og blitt implementert noen standardverdier for oppbyggingen av modellen i IDA ICE ettersom det har vist seg å være utfordrende å opparbeide tilstrekkelig kunnskap om casebygget ut fra et stort og varierende informasjonsgrunnlag. Det har likevel blitt benyttet reelle og målte verdier for sykehjemmet der dette har vært mulig. Det har i tillegg vist seg å være en del feil i målesystemet, som gjør at måleverdiene i styringssystemet (EMSweb) er noe usikre. I tillegg er ikke alle tekniske installasjoner lagt inn i målesystemet, og verdier er dermed vanskelig å bestemme, som for eksempel oversikt over brukt og levert elektrisitet fra solcelleproduksjon. Ut fra manglende verdier vil det dermed kunne forekomme avvik mellom simulerte og reelle verdier. I simuleringen av modellen er det brukt verdier fra standarder, oppgitte verdier i forvaltningsdrift og vedlikeholdssystemet (famacweb), målte verdier fra EMSweb og oversikt over prosjekterte verdier fra SIMIEN-fil.

Store og tidkrevende simuleringer og behov for store mengder lagringskapasitet for modeller for ulike tiltakspakker har vært en begrensning for oppgaven, ettersom det har redusert antall simuleringer som har vært mulig å gjennomføre. Det vil være flere tiltak for energieffektivisering, og reduksjon og forskyvning av effektbruk som kan evalueres for sykehjem for å potensielt kunne redusere energi- og effektbehov ytterligere.

Kapittel 2

Metode

Masteroppgaven om energi- og effektbruk for sykehjem er fortsettelse på et forprosjekt gjennomført høsten 2017 med samme tittel. I kapittelet beskrives metoden som ble benyttet i arbeidet med oppgaven.

2.1 Litteratursøk

Litteratursøk ble gjennomført for å undersøke eksisterende og tilgjengelige løsninger for energieffektivisering for sykehjem. Arbeidet med å innhente informasjon for sykehjem viste seg å være utfordrende, ettersom det per dags dato er lite forskning på området. Det ble dermed undersøkt litteratur av eksisterende teknologi og driftsmodus tatt i bruk for tilsvarende bygninger, for å vurdere hvilke tiltak som vil kunne være aktuelle å vurdere for å oppnå energieffektivisering for omsorgssenter. Oppgaven har dermed fokusert på å finne teknologi og driftsmodus som bidrar til energieffektivitet og reduksjon av effektbruk for sykehus og boliger, i tillegg til sykehjem der dette var mulig.

For å få en oversikt over energibruk i omsorgssenter, har typiske verdier for energibruk blitt undersøkt og vurdert ut fra bygningsstatistikk og tilgjengelig informasjon om tilsvarende sykehjem. Videre ble informasjon om simuleringsverktøy og klimakorrigerende undersøkt for å legge et grunnlag for simuleringen av omsorgssenteret og korrigerende av simulert energibruk til reelt klima for sykehjemmet på Eidet.

Litteratur om viktige inneklimateparametre for brukere og ansatte for et omsorgssenter ble vurdert for å sikre et godt inn klima ved vurdering av energieffektive løsninger. Det ble også undersøkt avvikende krav mellom eldre og yngre personer, og hvordan det er mulig å tilpasse for ulike brukere av et bygg i prosjekteringen av energieffektive bygg. I oppgaven ble det gjennomført litteratursøk på tiltak for å redusere energi- og effektbruk for sykehjem, med utgangspunkt i boliger og sykehus.

Litteraturstudie og teori i Kapittel 4, 5 og 6 er utarbeidet med utgangspunkt i prosjektoppgaven "Teknologi og driftsmoduser for å redusere energi- og effektbruk i omsorgssenter" utarbeidet høsten 2017 som er et forprosjekt for masteroppgaven med samme navn. [17]

2.2 Innhenting av måledata og informasjon

Måledata fra EMS-systemet på Eidet omsorgssenter ble innhentet til bruk som sammenligningsmateriale for oppgaven og bruk i simuleringen av Eidet omsorgssenter. Måledata og simuleringer for sykehjemmet har dermed gitt en indikasjon på hvordan bygget presterer ut fra dimensjonerte og planlagte verdier. I tillegg har informasjon blitt innhentet fra Enova, Haram kommune og ulike entreprenører for prosjektet, for å opparbeide en oversikt over bygget, systemene og viktige parametre. Størrelsen på målt energi- og effektbruken ble hentet fra strømlleverandør og målesystemet for sykehjemmet.

2.2.1 Befaring på Eidet omsorgssenter

I forbindelse med prosjektoppgaven høsten 2017 ble det gjennomført en befaring på Eidet omsorgssenter for å opparbeide et godt informasjonsgrunnlag for oppgaven, i tillegg til å gjennomføre målinger og få innblikk i sammensetninger og oppbygging av systemene på bygget. Befaringen ble gjennomført over to dager med omvisning i bygget og utplassering av temperaturmålere.

Temperaturceller ble plassert ut i ulike rom og etasjer i bygget, deriblant på beboerrom, fellesrom for beboere og pauserom for ansatte. Funksjonen med temperaturmålingene var å undersøke endringene og størrelsen av innetemperaturen i utvalgte rom over tid til bruk i simuleringen av sykehjemmet og sammenligning av temperatur med litteratur om termisk komfort for sykehjem. Utvalgte temperaturceller ble innhentet i løpet av befaringsreisen for å undersøke om plasseringen var hensiktsmessig og om det var betydelige avvik fra målingene for EMSweb. Det ble benyttet en ekstern temperaturmåler for å undersøke om målerne viste samme temperatur for den valgte plasseringen. Deretter ble temperaturcellene plassert ut igjen for å måle endringer av innetemperaturen over en lengre periode.

Det ble benyttet temperaturceller av typen iButton DS1922L-F5 Thermochron, som måler og registrerer temperaturen for omgivelsene. Temperaturcellene kan måle temperaturer innenfor et intervall fra -40°C til $+85^{\circ}\text{C}$, og har en usikkerhet på $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ for målinger i intervallet -10°C til $+65^{\circ}\text{C}$. Temperaturcellene er oppgitt å være kalibrert ut fra National Institute of Standards and Technology (NIST). [18] Temperaturmålerne ble stilt inn til å registrere temperaturen for omgivelsene hvert 15 min, og registrerte målinger på Eidet omsorgssenter fra 14. november 2017 til 18. januar 2018.

2.2.2 Spørreundersøkelse blant ansatte på Eidet omsorgssenter

For å få en indikasjon på hvordan reelt inneklima er på Eidet omsorgssenter i dag med implementerte tiltak, ble det gjennomført en spørreundersøkelse blant ansatte ved sykehjemmet. Spørreundersøkelsen bestod av 31 spørsmål som omhandlet temperatur, luftkvalitet, belysning, støy og generelt inneklima på sykehjemmet. Målet med spørreundersøkelsen var å gi sammenligningsgrunnlag for inneklima til tiltakene som allerede er implementert på sykehjemmet. I utarbeidelsen av spørsmålene til spørreundersøkelsen ble Ørebromedellen benyttet som utgangspunkt. Det ble i undersøkelsen stilt spørsmål inspirert av Ørebro-skjema 2 om ulike plager på arbeidsplassen, med tilhørende alternativer om hyppigheten av disse plagene. [19] Svarene for undersøkelsen ble etter gjennomføring registrert, og hvert spørsmål ble oppsummert ut fra antall besvarelser og prosentvis fordeling. Spørsmålene og resultatene fra spørreundersøkelsen, i tillegg til oppbygging av Ørebro-skjema 2 finnes i Vedlegg A.

Før gjennomføringen av spørreundersøkelsen, ble det utført en pilottest av undersøkelsen på et lite utvalg personer for å kontrollere om spørsmålene var fullstendige og forståelige. Det ble i tillegg sendt inn meldeskjema til Personvernombudet for forskning (NSD), som ble godkjent før undersøkelsen ble gjennomført. Spørreundersøkelsen ble gjennomført ved avkrysning for valgt alternativ, og alle spørsmålene var valgfrie å besvare. Deltakerne godtok deltakelse ved å gjennomføre undersøkelsen og sende inn svarene. I forbindelse med utsendelse av spørreundersøkelsen ble det også sendt ut informasjonsskriv for undersøkelsen.

2.3 Beregninger og simulering

I oppgaven ble simuleringprogrammet IDA ICE brukt for å simulere energi- og effektbruk. Det ble opparbeidet en modell av Eidet omsorgssenter, ut fra oppgitte verdier og informasjon, som ble brukt til å simulere energi- og effektbruk totalt for omsorgssenteret i tillegg til energibruk for spesifikke energiposter. Resultatene fra simuleringen ble brukt som sammenligningsgrunnlag for målte verdier fra omsorgssenteret, verdier fra Økern sykehjem og bygningsstatistikk generelt for sykehjem. Ut fra Eidet omsorgssenteret ble det videre laget en basemodell med utgangspunkt i verdier fra forskrifter og standarder. Basemodellen ble deretter brukt til å simulere tiltakspakker for å redusere energi- og effektbruk generelt for sykehjem.

2.3.1 Simulering av tiltakspakker

Verdiene og tiltakene for simulering av tiltakspakker ble valgt ut fra forskrifter, standarder og litteraturstudie om energieffektiv energibruk for omsorgssenter. Det ble valgt ut 10 tiltak for forbedring av den generelle bygningen, med utgangspunkt i bygningskropp, ventilasjon, belysning og solskjerming. For hvert tiltak ble det valgt ut to alternative forbedringsnivåer for simuleringene. I tillegg til de to alternative forbedringsnivåer, ble det valgt

et tredje forbedringsnivå, for å undersøke en mellomliggende løsning av verdiene. Tiltakspakkene med ulike kombinasjoner med det tredje forbedringsnivået, inkluderes ikke i oversikten over mulige tiltakspakker, men listes separat. Tiltakspakker med det tredje forbedringsnivået er beskrevet som tiltakspakke Å i oppgaven.

Fractional factorial designs

Metoden som ble benyttet i sammensetningen av tiltakspakker og valg av tiltak til simulering var fractional factorial designs. Fractional factorial designs er en metode som benyttes for å vurdere hvilke eksperiment som skal gjennomføres for et forsøk. Metoden legger til rette for å forenkle evalueringen av et forsøk, ved at kun en tilfredsstillende utvalgt mengde av mulig kombinasjoner i eksperimentet velges ut til testing og evaluering. [20, 21]

Selv om antallet tiltak er begrenset, vil mulige kombinasjoner av tiltak til simulering for å gjennomføre en fullstendig evaluering av et forsøk bli veldig mange. Dersom det for eksempel velges ut et antall faktorer eller tiltak (k) som skal simuleres, og hver av faktorene har to ulike evalueringnivåer vil dette tilsvare: $2^k = 2^6 = 64$ mulige kombinasjoner av tiltak for simulering. Ved å velge ut riktige kombinasjoner av tiltak til simulering vil det være mulig å oppnå en god evaluering med et begrenset antall simuleringer. Fractional factorial designs benytter ulike strategier for å sikre at tilstrekkelig antall og riktige tiltak velges ut til evaluering. [20, 21]

Valg av tiltak for simulering

For oppgaven ble det satt opp en matrise med utgangspunkt i prinsippet om fractional factorial designs, der tiltakene ble satt mot hverandre og alle mulige kombinasjoner av tiltakspakker ble vist. Figur 2.1 viser en oversikt over mulige tiltakspakker. Tiltakspakker som ble valgt ut til simulering er markert med bokstaver for å forenkle sammenligningen av simulerte tiltak. Hver rute i matrisen illustrerer en mulig tiltakspakke for simulering bestående av ulike kombinasjoner av de 10 utvalgte tiltakene og 2 forbedringsnivåene. Tabell 2.1 gir en beskrivelse av brukte forkortelser i matrisen, mens Tabell 2.2 viser en oversikt over inndelingen av tiltakspakker i fargekoder for å illustrere sammensetningen av kombinasjonene og rekkefølgen på simulering av tiltakspakkene.

Tabell 2.1: Beskrivelse av tiltak i matrisen

Forkortelse	Beskrivelse
Vent	Løsning for ventilasjon
LM	Luftmengder
VG	Varmegjenvinner
SFP	Spesifikk vifte effekt
Iso	Isolasjon
Vindu	Vinduer/dører
KB	Kuldebro
n	Lekkasjetall (n_{50})
B	Belysning

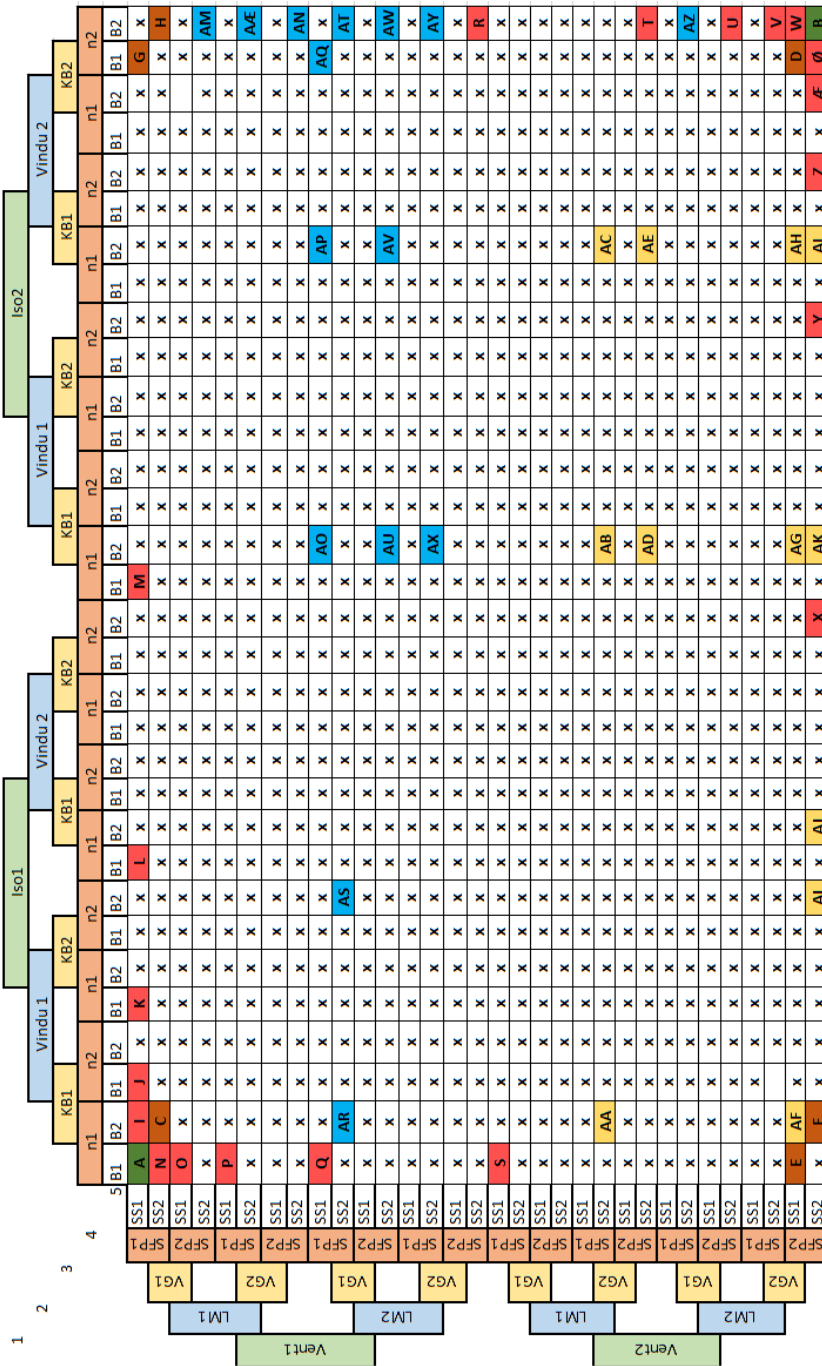
Tabell 2.2: Beskrivelse av utvalg av tiltakspakker

Beskrivelse	Tiltakspakke	Fargekode
Alt er bra/Alt er dårlig	A-B	Grønn
Alt er bra/Alt er dårlig bortsett fra en parameter	C-H	Rød
Alt fra samme kategori er bra/dårlig, mens resten er dårlig/bra	I - Ø	Brun
2. runde med simulering av tiltakspakker	AA AL	Gul
3. runde med simulering av tiltakspakker	AM - AZ	Blå
Simulering av et middels forbedringsnivå (tiltakene vises ikke i matrisen)	Å1 - Å10	-

Ut fra matrisen ble det valgt ut tiltakspakker ved å bruke prinsippene for fractional factorial designs, for å inkludere flest mulige kombinasjoner av tiltakspakker, og for å evaluere alle faktorene i kombinasjon med hverandre. I valg av tiltakspakker ble det først tatt utgangspunkt i kombinasjoner der alle faktorene ble simulert med forbedringsnivå 1, og tilsvarende simulering der alle tiltakene ble simulert med forbedringsnivå 2. Det ble videre valgt ut kombinasjoner av tiltak der en av faktorene ble simulert med motsatt forbedringsnivå av resterende tiltak, for å undersøke påvirkningen fra hvert enkelt tiltak på energi- og effektbruken. Etter første runde med simulering av utvalgte tiltakspakker, ble tiltakspakkene og resultatene fra simuleringene evaluert, og benyttet til å velge ut ytterligere to runder med tiltakspakker for simulering. I tillegg ble det simulert en tiltakspakke med bruk av det tredje forbedringsnivået for alle tiltakene, og forbedringer av denne simuleringen med kombinasjon av forbedringsnivå 1 og 2. Det ble totalt gjennomført simulering av 65 tiltakspakker for generelle tiltak for å undersøke reduksjon av energi- og effektbruk for sykehjem.

Ut fra resultatene fra simuleringen av generelle tiltakspakker, ble det valgt ut 10 tiltakspakker til videre simulering av løsninger for oppvarming, kjøling og implementering av fornybar energiproduksjon. Tiltakene som ble valgt ut til videre simulering, ble valgt ut fra størrelsen på besparelse av energi- og effektbruk, for å undersøke om det var mulig å oppnå en ytterligere besparelse ved implementering av system for oppvarming, kjøling og fornybar energi. Enkelte av tiltakspakkene som ble valgt ut, resulterte i en høy operativ temperatur, og ble valgt for å undersøke potensialet for å redusere operativ temperaturen ved å implementere kjølesystem for tiltakspakkene.

Forbedringsnivå for tiltakspakkene beskrives i Kapittel 8.3.1 og 8.3.2, mens utdyping av tiltakspakkene finnes i Tabell B.1 til B.4 i Vedlegg B.



Figur 2.1: Oversikt over mulige tiltakspakker og utvalgte tiltakspakker for simulering

2.3.2 Sammenligning og evaluering av tiltakspakker

Simulerte tiltakspakker ble sammenlignet og evaluert ut fra beregning av energi- og effektbruk og simulering av parametre for inneklime fra simuleringsprogrammet IDA ICE. I tillegg ble det innhentet informasjon om priser og levetid for tiltakene for å beregne nåverdi for den siste runden med simulering av tiltakspakker. Resultatene av nåverdiberegningene ble deretter brukt for å sammenligne kostnad og inntjening for tiltakspakkene. Videre ble de siste tiltakspakkene evaluert ut fra klimapåvirkning ved beregning av besparelsen for utslipp av klimagasser fra energibruken til tiltakspakkene ut fra CO_2 -faktor for elektrisitet. Evalueringskriteriene beskrives nærmere i Kapittel 3.

2.4 Oppbygging av oppgaven

Det ble først gjennomført en tilstandsanalyse for Eidet omsorgssenter ved innhenting av informasjon ut fra målesystem, befaring, og kontakt med entreprenører og ansvarlige fra Haram kommune, i tillegg til gjennomføring av temperaturmålinger og spørreundersøkelse på sykehjemmet. Det ble videre etablert en modell av Eidet omsorgssenter i simuleringsprogrammet IDA ICE, som ble brukt som grunnlag for å utarbeide en basemodell for simulering av tiltakspakker for reduksjon av energi- og effektbruk for sykehjem generelt.

Litteratursøk ble gjennomført på blant annet inneklime for omsorgssenter, energieffektive tiltak og tiltak for å redusere og forskyve effektbruk. Litteratursøket bidro til å kartlegge hvilke tiltak som er tatt i bruk for å energieffektivisere bygg i dag og hvilke løsninger for driftsmodus og teknologier det er mulig å gjennomføre for sykehjem. Det ble i litteratursøket tatt utgangspunkt i informasjon fra sykehus og boliger, ettersom det har vist seg å være lite relevant informasjon om tiltak utført på sykehjem.

Ut fra innhentet informasjon ble Eidet omsorgssenter beskrevet i detalj. Simuleringen av sykehjemmet og tiltakspakker for å redusere energi- og effektbruk ble videre gjennomført i IDA ICE på bakgrunn av innhentet litteratur, informasjon og standardverdier, som beskrevet i Kapittel 8.2. Tiltakspakkene ble deretter evaluert ut fra inneklime, energi- og effektbruk, i tillegg til at den siste runden med simuleringer av tiltakspakker ble vurdert ut fra økonomi og påvirkningen på klima. Resultatene fra simuleringen ble fremstilt og diskutert, før det ble fattet en konklusjon på bakgrunn av simuleringer og litteratursøk. Videre arbeid ble til slutt vurdert for oppgaven.

Kapittel 3

Beregninger og dimensjonering

I kapitlet beskrives grunnlaget for dimensjonering og beregning av ulike faktorer som benyttes i oppgaven. Beregningsmetode for nåverdi og utslipp av klimagasser fra bruksfasen av et bygg utdypes, i tillegg til beskrivelse av hvordan registrering og beregning av energibruk for et bygg skal gjennomføres ut fra standard og forskrifter.

3.1 Dimensjonering av energibehov for tappevann

3.1.1 Erfaringstall for energibruk til tappevann

NS3031 oppgir verdier for netto energi- og effektbehov til oppvarming av varmtvann som skal benyttes i kontrollberegninger opp mot forskriftskrav. I standarden oppgis et effektbehov til varmtvann på $5,10 \text{ kW/m}^2$ og en tilsvarende energibruk på $30,00 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{år})$ for tappevann, med en uniform fordeling. Til sammenligning oppgis det en tilsvarende verdi på $5,1 \text{ W/m}^2$ og $29,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{år})$ for småbygg. [22] Ved å ta utgangspunkt i en uniform fordeling av energibruken til varmtvann vises ikke variasjonene i systemvirkningsgrad eller samspillet mellom energibruk til varmtvann og termisk masse i tallene gitt i NS3031. [23]

Til forskjell fra energibruk til romoppvarming vil det være energibehov for tappevann hele året. I SN/TS3031 oppgis det timesbasert energibruk til oppvarming av varmtvann med tilhørende tidsplan for fordelingen av energibruken over døgnet. Toppunktene for energibruk til varmtvann i følge tidsplanen er fra klokken 6.00 til klokken 8.00 og fra klokken 17.00 til klokken 19.00 der det antas en effektbruk på $8,24 \text{ Wh/m}^2$. Ved å benytte en tidsplan for effektbruk for varmtvann til fordel for uniform fordeling, legges det til rette for å inkludere dynamiske forhold i beregningene og en mer reell fordeling av energibruken til varmtvann.

[22, 24] Dimensjonerende verdier for energi- og effektbruk oppgitt i standarder vises i Tabell 3.1.

Tabell 3.1: Verdier for dimensjonering av energi- og effektbruk til tappevann for sykehjem

Standard	Effektbehov [kW/m ²]	Energibehov [kWh/(m ² år)]	Fordeling av forbruket
NS3031:2014	5,10	30,00	Uniform
SN/TS3031:2016	-	30,00	Tidsplan

I en studie gjennomført av Haugerud, Linda P. et al. på energibruk i bygninger med fjernvarmetilknytning undersøkes energibruk til tappevannsoppvarming for boliger med målinger fra 2009 og 2010. Ut fra målinger i studien ble det beregnet en gjennomsnittlig energibruk til oppvarming av tappevann for boliger på 21 kWh/m² for de undersøkte boligene. Studien viser videre at det er store variasjoner i energibruk til tappevann for de undersøkte boligene. Resultatene varierer mellom henholdsvis 3 kWh/m² og 66 kWh/m² for målinger i boliger fra 2009, og 3 kWh/m² og 54 kWh/m² for målinger fra 2010. [25]

I en undersøkelse gjennomført av Petersen A. og Gedsø S. undersøkes energibehovet til tappevann ut fra ulike studier og målinger. I studien vises det, som i studien gjennomført av Haugerud, Linda P. et al., til store variasjoner i energibruk for tappevann for boliger. Ut fra resultater av informasjonsinnsamlingen indikeres det at verdien for energibruk til tappevann i NS3031 er noe høy, og at et mer riktig estimat vil ligge mellom 15 kWh/m² og 25 kWh/m² for boliger. Det presiseres videre at energibruk til tappevann utgjøre en betydelig andel av energibruken for boliger, og at det dermed vil være viktig å sikre en så reell verdi på dimensjonering av energibruk til tappevann som mulig. [23]

Et alternativt utgangspunkt for dimensjonering av varmtvannsbehovet for et bygg er å bruke tabeller over erfaringstall for aktuell bygningskategori oppgitt av leverandører. OSO Hotwater AS har blant annet i sine brosjyrer oppgitt erfaringstall for sykehjem. Tabell 3.2 viser en oversikt over dimensjonerte mengder og effekt for sykehjem ut fra antall personer og type oppvarmingsløsning oppgitt i brosjyren fra OSO Hotwater AS. For dimensjonering av behov til varmtvann nevner OSO Hotwater at behovet vil variere ut fra blant annet ønsket varmekilde for systemet, anleggstype og antall personer det dimensjoneres for. For dimensjonering av akkumulatortank for varmtvann oppgis blant annet varmekilde, ønsket tilførsel av varme, anleggstype og antall personer det dimensjoneres for som nødvendig informasjon. Det nevnes videre at det vil være mulig å redusere energibruk for tappevann, ved bruk av færre store varmtvannstanker heller enn flere små, ettersom det fører til et betraktelig lavere varmetap. Bruk av flere varmtvannstanker skaper i tillegg driftssikkerhet for anlegget. [26]

Tabell 3.2: Erfaringstall for dimensjonering av varmtvann for sykehjem (utarbeidet fra [26])

Antall personer	Varmepumpe [Volum/kW]		El/kjel [Volum/kW]	Kjel [Volum/kW]
	Forvarming	Ettervarming		
35	1500/15	1500/15	1500/25	1200/30
45	2000/15	2000/15	2000/30	1500/50
60	3000/25	3000/25	3000/50	1800/75
75	4000/30	4000/30	4000/60	2000/100

3.1.2 Beregning av effektbehov for tappevann

Effektbehov til oppvarming av varmtvann kan beregnes ut fra Likning 3.1. Likningen viser at effektbehovet for varmtvann er avhengig av temperaturdifferansen mellom kaldt- og varmt vann, i tillegg til massestrøm og spesifikk varmekapasitet for varmtvann. [27]:

$$\phi_{vv} = \dot{m}_{vv} \cdot c_{p,v} \cdot (\theta_{vv} - \theta_{kv}) \quad [\text{W}] \quad (3.1)$$

\dot{m}_{vv}	Massestrøm [kg/s]
$c_{p,v}$	Spesifikk varmekapasitet for vann [J/kg · K]
θ_{vv}	Temperatur varmt vann ut [°C]
θ_{kv}	Temperatur kaldt vann inn [°C]

Ut fra beregningsmetoden beskrevet i Likning 3.1 er det beregnet et effektbehov for oppvarming av varmtvann for casebygningen Eidet omsorgssenter på 3,66 W/m² ut fra reelle målinger av varmtvannsforbruket og en temperaturdifferanse på 60K. Fullstendig beregningen av varmtvannsbehovet for Eidet omsorgssenter finnes i Vedlegg C.

3.1.3 VarmtVann2030

Gjennomsnittlig energibruk til oppvarming av varmtvann for bygninger i Europa utgjør rundt 13 % av energibruken. Det er videre anslått at denne andelen vil øke betraktelig med nye godt isolerte bygg, der energibruken til romoppvarming reduseres. Prosjektet VarmtVann2030 er et samarbeidsprosjekt mellom NTNU og SINTEF, i tillegg til byggeiere og leverandører, der målet er å øke det norske kunnskapsnivået for bruk av tappevann. Prosjektet har videre som mål å antyde bedre løsninger for bruk av tappevann som er energieffektive og miljøvennlige. I prosjektet undersøkes hovedsaklig boligbygninger, sykehjem og hoteller, ettersom disse bygningskategoriene vil ha et stort behov for oppvarming av varmtvann. [28]

3.1.4 Tiltak for å redusere energibruk til tappevann

Dårlige beredere og dårlig isolerte rør vil være faktorer som øker varmtvannsbehovet for bygg, grunnet økningen i varmetap for systemet. Ved å isolere rør og utstyr i tappevannssystemet vil det være mulig å oppnå en god energibesparelse. Det vil også blant annet være mulig å redusere energibruken ved bruk av varmegjenvinning av gråvann, fornuftige brukervaner og enkle tiltak som å installere sparedusj i bygget. I tillegg vil bruk av fornybare oppvarmingsløsninger som solfangersystem eller system med varmepumpe tilkoblet ulike energikilder for forvarming av varmtvann kunne bidra til å redusere behovet for levert energi. [24, 29, 30]

3.2 Statistikk

I kapittelet beskrives begrepet korrelasjon, og hvordan styrkegraden av korrelasjon kan beskrive sammenhengen mellom ulike parametre.

3.2.1 Korrelasjon

Korrelasjon er et begrep som beskriver hvor stor sammenheng det er mellom to eller flere variabler, og dermed hvor sterk eller svak sammenheng det er mellom variablene. Korrelasjonskoeffisienten varierer mellom +1 og -1, der variabler med en koeffisient på +1 eller -1 har størst sammenheng. Verdier nærmere null viser til svakere sammenhenger mellom variabler, altså at variablene er uavhengig av hverandre. [31] Tabell 3.3 viser en oversikt over graden av korrelasjon ut fra varierende korrelasjonskoeffisienter [32].

Tabell 3.3: Oversikt over styrkegraden for korrelasjon

Verdi	Beskrivelse
0,00 - 0,30	Veldig svak
0,30 - 0,50	Svak
0,50 - 0,70	Moderat
0,70 - 0,90	Sterk
0,90 - 1,00	Veldig sterk

3.3 Beregning av energibruk

I følge TEK17 kapittel 4-2 skal beregningene av energibruk for et yrkesbygg gjennomføres på to ulike måter. For det første skal beregningene av energibehovet for bygget ikke overskride energirammene, som for sykehjem er satt til 195 kWh/m²år. For beregning av energibruk til bygningen skal det tas utgangspunkt i beregningsmetode beskrevet i NS3031:2014. [22]

For yrkesbygg skal det i tillegg beregnes et energibudsjett med reelle verdier for bygningen. Funksjonen med et energibudsjett er å gi et anslag for byggets energibruk, for at det skal være mulig å vurdere ulike løsninger for bygget, og på denne måten optimalisere energiytelsen. Energibudsjettet skal settes opp og beregnes ut fra retningslinjene gitt i NS3031:2014, med reelle verdier for den aktuelle bygningen. [22] Det skal tas utgangspunkt i levert energi til bygget, og alle virkningsgrader for oppvarmings- og kjølesystem skal inkluderes. Videre skal det i energibudsjettet i følge TEK17 som et minimum inkluderes reelle verdier for blant annet lokalt klima, skjerming av bygget, innetemperaturer, luftmengder for ventilasjon i og utenfor driftstid og varmetilskudd fra intern laster [33].

For å oppnå kravet for Passivhusstandarden settes det blant annet krav til et maksimal verdi av netto spesifikk energibruk til oppvarming på 20 kWh/(m²år) for et sykehjem større enn 1000 m² med en midlere utendørs temperatur på over 6,3 °C. Eidet omsorgssenter har et oppvarmet bruksareal på 7038 m² og ligger i Haram kommune som har en årsmiddeltemperatur på 7,1 °C. Kravet til maksimal 20 kWh/(m²år) vil dermed gjelde for omsorgssenteret for å oppnå klassifiseringen som passivhus. [34, 35]

3.3.1 Forskrifter og standarder

TEK17 er en teknisk forskrift som setter krav til egenskaper som minimum må opprettholdes for å kunne sette opp et bygg lovlig i Norge i dag. Veiledningen til de tekniske forskriftene er en beskrivelse av forskriftskrav og inkluderer preaksepterte ytelser som kan benyttes for å oppnå kravene. TEK17 er utgitt av Direktoratet for byggkvalitet. [33]

NS3031:2014 er standarden som beskriver metode og data for beregning av energiytelsen for et bygg, og som brukes som beregningsgrunnlag for å oppnå kravene som er spesifisert i TEK17. [22] Det ble i 2016 utgitt en utgave av standarden med navn SN-TS3031, som henvises til som teknisk spesifikasjon. SN-TS3031 ble utarbeidet fra erfaringer fra NS3031, og brukes som supplement for beregning av energiytelse for bygg. [24]

I prosjekteringen av Eidet omsorgssenter er det tatt utgangspunkt i prosjektering etter passivhusstandarden, NS3701. Passivhusstandarden inneholder kriterier for yrkesbygg som skal oppnå klassene passivhus og lavenergibygget. Standarden setter strengere krav til prosjektering og bygging enn teknisk forskrift. For beregninger av energibehov brukes beregningsmetoder beskrevet i NS3031. [34]

3.4 Økonomiske beregninger

Nåverdimetoden er en mye brukt metode for å evaluere fortjeneste og investering av alternative løsninger. Ved metoden regnes verdien av alle inntekter og utgifter om til et felles tidspunkt for å kunne sammenligne løsninger. Likningen for beregning av nåverdi (NV) er oppgitt i Likning 3.2. For at et tiltak skal være økonomisk lønnsomt må det oppnås en $NV > 0$. [36] Restverdien for tiltakspakkene i oppgaven antas å være null, og dette leddet inkluderes dermed ikke i beregningene av nåverdien for oppgaven.

$$NV = (B - V) \cdot \frac{1 - (1 + r)^{-N}}{r} + S \cdot (1 + r)^{-N} - I \quad (3.2)$$

NV	Nåverdi [NOK]
B	Årlig økonomisk besparelse [NOK/år]
V	Årlig kostnad til drift og vedlikehold [NOK/år]
N	Økonomisk levetid [år]
r	Realrente [%]
S	Restverdi ved utløp av den økonomiske levetiden [NOK]
I	Investeringskostnad for tiltaket [NOK]

For beregning av kostnader i oppgaven er det tatt utgangspunkt i kostnad for ulike tiltak tilsendt fra Enova, i tillegg til priser hentet fra programmet Norsk prisbok og oppgitte priser fra en rapport om kostnader i energisektoren utarbeidet av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) [37–39]. Norsk prisbok er et program som inneholder sammendrag av priser og klimagassutslipp for forskjellige bygningskategorier, og er et oppslagsverk for byggebransjen. Programmet er utviklet av Norconsult Informasjonssystemer AS og AS Bygghanalyse. [38] Priser benyttet for ulike tiltak og beregning av kostnad for tiltakspakker er vist i Vedlegg D. Det regnes i oppgaven med en kraftpris på 0,95 kr/kWh (inkl. mva) [40]. Det legges vekt på at beregningene av kostnad i oppgaven er et antatt estimat av kostnadene for ulike tiltak.

Levetid for generelle forbedringer i tiltakspakkene er listet i Tabell 3.4. Tallene i tabellen tar utgangspunkt i en rapporten om kostnader i energisektoren utarbeidet av NVE [39] I beregningene antas en realrente på 5,5 % for beregning av nåverdi. Videre inkluderes ikke kostnader for drift og vedlikehold for byggetekniske tiltak i beregningene.

Tabell 3.4: oversikt over levetid for generelle tiltak

Tiltak	Levetid [år]
Byggetekniske forbedringer	60
Vinduer og dører	30
Ventilasjonssystem	20
Varmegjenvinner	20
Spesifikk vifteeffekt (SFP)	20
Solskjerming	15
Belysningsutstyr	15

3.4.1 Kostnad for installasjon av solceller

Kostnaden for solcelleanlegg avhenger av blant annet areal, ønsker produksjon, valg av komponenter og installasjon av anlegget. Dersom solcellene produserer mer elektrisitet enn boligen bruker vil det være mulig å levere overskuddet av produksjonen til strømmettet, det må imidlertid lages en avtale med strømleverandør for å kunne levere strømmen til

nett. For å kunne levere strømmen til kraftselskapet er bygget avhengig av å ha AMS målere, som måler forbruket av strøm i begge retninger, i tillegg til at strømleverandøren stiller tekniske krav for tilkoblingen til strømmettet. [41, 42]

En strømkunde som produserer mer strøm enn eget forbruk på enkelte tider av året, vil være en plusskunde. Strømmen som ikke brukes til eget forbruk mates da inn på strømmettet. For plusskunder settes det krav til at den innmatede effekten ikke overstiger 100 kW på noe tidspunkt. Det vil foreløpig være frivillig for nettselskapet å kjøpe overskudskraften, og nettselskap stiller ulike krav til plusskunder i sitt selskap. [43]

I en rapport om solkraft i Norge utgitt av Enova, beregnes kostnad av solcelleanlegg for boliger, næringsbygg og bakkemonteerte anlegg. I rapporten undersøkes et anlegg for et næringsbygg på 100 kW_P for ulike lokasjoner i Norge. Rapporten estimerer med en komponentpris for installasjon av solceller på 100 kW_P på 18 kNOK/kW_P. I prisen inkluderes både materialer og installasjon som kreves for anlegget. Ut fra beregningsestimatet vises det at 32-36 % av kostnadene går til installasjon av anlegget, og at modulene representerer 35-41 % av kostnadene. I tillegg vil inverteren stå for en betydelig andel av kostnadene for solcelleanlegget. Rapporten viser til at systemkostnadene for installasjon av solcelleanlegget på 100 kW_P vil ligge mellom 12 og 20 kNOK/kW_P. Ved beregning av lønnsomhet for solcelleanlegget regnes det med en levetid på 25 år, som tilsvarer modulgarantien for anlegget, og årlige utgifter til drift og vedlikehold på 2 % av systemprisen for anlegget. [41] Verdier for beregning av nåverdi for solcelleanlegg er listet i Tabell 3.5.

Tabell 3.5: Inputverdier for beregning av nåverdi for installasjon av solcelleanlegg

Beskrivelse	Verdi
Systempris	12-20 kNOK/kW _P
Levetid	25 år
Drift og vedlikeholdskostnader	2 % av systempris

3.4.2 Kostnad for installasjon av solfangeranlegg

Tabell 3.6 lister verdier for beregning av nåverdi for solfangeranlegg [40]. Fra rapporten utgitt av NVE om kostnader i energisektoren er det innhentet kostnader for ulike solfangeranlegg fra leverandører av solfangeranlegg, i kombinasjon med kostnadsvurderinger gjennomført av NVE. I rapporten er det oppgitt en total kostnad på 990 000 kr for et solfangeranlegg på 300 m² for et næringsbygg. I tillegg vises en oversikt over gjennomsnittlig investeringskostnad for installasjon og komponenter for anlegg per m², ut fra innhentede priser. For næringsbygg vises det til en total investeringskostnad på 3 300 kr/m², der investeringskostnaden for modulene utgjør rundt 75 % av kostnadene for anlegget. For et solfangeranlegg vil kostnadene for investering være høye, mens kostnadene for drift og vedlikehold vil være relativt lave. [39] Ettersom det ut fra rapporten utgitt av NVE vises til at drift og vedlikeholdskostnadene for solfangeranlegg har den laveste påvirkning på energiprisen, er det valgt å utelate kostnader knyttet til drift og vedlikehold i beregningene av nåverdi for installasjon av solfangeranlegg i oppgaven. [39, 40]

Tabell 3.6: Inputverdier for beregning av nåverdi for installasjon av solfangeranlegg

Beskrivelse	Verdi
Investeringskostnad	3 300 kr/m ²
Levetid	25 år

Ved installasjon av anlegg for solvarme, vil det i tillegg til prisen for anlegget være nødvendig med kostnader til utstyr for varmfordeling og lagring [40]. Kostnadene for varmelagring i varmtvannstank, styring og rørføringer vil være inkludert i den beregnede nåverdien for anlegget.

3.4.3 Kostnad for installasjon av grunnvarmepumpe

Kostnaden for et system med grunnvarmepumpe varierer ut fra blant annet effektbehov for oppvarming og kjøling, og temperaturnivå. For en varmepumpe med energibrønner vil kostnaden for komplett energibrønn være den største utgiftsposten. Videre vil kostnadene for varmepumpe-spesifikke kostnader, som rør og pumper, utgjøre en betydelig andel av kostnadene, i tillegg til varmepumpeenheten i systemet. Anlegg basert på bruk av grunnvarme antas å ha en lengre levetid enn bruk av andre teknologier, og det antas en levetid på 20 år for varmepumpesystemet. Ut fra antagelser for faste driftskostnader tilknyttet varmesentral for bergvarmepumpe antas en årlig kostnad for drift og vedlikehold av varmepumpen på 40 kr/kW. [39] Prisen for installasjon av varmepumpe i oppgaven er hentet fra Norsk prisbok, der verdien oppgis for anlegg med ulik dimensjonert effektbehov. [38]

Tabell 3.7: Inputverdier for beregning av nåverdi for installasjon av grunnvarmepumpe

Beskrivelse	Verdi
Investeringskostnad (varmepumpe 30 kW)	343 862 kr
Investeringskostnad (varmepumpe 60 kW)	470 421 kr
Levetid	20 år
Drift og vedlikeholdskostnader	40 kr/kW

3.4.4 Beregning av energikostnad for næringsbygg

Timesmålinger for kunder med et forbruk over 100 000 kWh per år ble innført som et generelt krav i 2006, fra tidligere var kravet til timesmålinger for kunder med årlig forbruk over 400 000 kWh. Kravet ble innført med mål om å øke forsyningssikkerhet. [44]

I utregningen av energikostnad for næringsbygg og store kunder hos nettselskap, består utregningen av et energiledd og en effektarriff. Effektarriffen utarbeides fra det høyeste effektuttaket over året eller måneden, avhengig av nettselskap, og legges til som et ledd på nettleien. I tillegg vil verdien av effektleddet være høyere om vinteren enn om sommeren. [44]

Ut fra analyser av målinger i perioden 2004 til 2014 gjennomført av Thema consulting group på oppdrag fra NVE vises det til at det er en sterk sammenheng mellom forbruk av energi og uttak av effekt for store kunder. Timesregistrering av forbruket har ut fra undersøkelsene vist å øke bevisstheten rundt og tilpasning av forbruket av energi og effekt hos kundene. En økende energipris og økt effekttariff for brukerne fungerer dermed i følge analysen av målingene som insentiver til å gjennomføre energieffektive tiltak i større bygg. I analysen for perioden viste resultatene i tillegg at styringssystem vil være et energieffektivt og lønnsomt tiltak. [44]

Prismekanismer for energieffektivitet

Ved implementeringen av en større andel av elektrisetsproduksjon fra variable fornybare energikilder, setter det krav til nye løsninger for å øke fleksibiliteten til nettet. En løsning for å øke fleksibilitet til nettet er ved bruk av ulike former for prismekanismer. Time of Use (ToU) tariffer vil være en god løsning for redusere effektforbruket på tider med stort behov i nettet. ToU tariffer legger til rette for og oppmuntre forbrukere til å utnytte prisvariasjonene for å planlegge forbruket av elektrisitet. ToU tariff metoden går ut på priser er fastsatt på forhånd og gjelder for forhåndsdefinerte intervaller og dager. ToU er i dag den mest brukte prismekanismen for smart prissetting. [45]

3.5 Evaluering av klimapåvirkning

Påvirkningen på miljøet avhenger av ulike materialer og mengden av materialet som er brukt. I tillegg vil energibruken avhenge av type energiforsyning for boligen. Det vil også være forskjell på om elektrisiteten som brukes for å dekke forbruket er blitt produsert av vannkraft, kullkraft eller om det tas utgangspunkt i en europeisk miks for elektrisitet. [46]

3.5.1 Nullutslippsbygg

Det norske forskningssenteret for nullutslippsbygg definerer et nullutslipps bygg (ZEB) som et bygg der produksjonen av energi fra fornybare energikilder i bruksfasen er tilstrekkelig for å kompensere for utslippene av klimagasser over byggets levetid. Et ZEB oppnås ved å redusere energibruken til bygget så mye som mulig ved å implementere energieffektive tiltak, i tillegg til å produsere tilstrekkelig fornybar energi og varme for å kompensere for klimagassutslippene til bygget i løpet av byggets levetid. Et ZEB er dermed en bygning som totalt i løpet av levetiden ikke bidrar til klimagassutslipp. [47]

3.5.2 Beregning av redusert klimagassutslipp til bruksfasen av bygget

Det finnes fem ulike ambisjonsnivå for å oppnå ZEB, der forskjellige nivåer inkluderer klimagassutslipp fra ulike faser i bygningens levetid. [47] I beregninger for oppgaven tas det utgangspunkt i besparelse av utslipp fra klimagasser i bruksfasen for bygget, og utslipp

tilknyttet materialer, bygging og riving av bygget inkluderes dermed ikke i beregningene. Regnereglene for ZEB benyttes som utgangspunkt for besparelsen av utslipp til driftingen av bygget for ulike tiltakspakker.

For beregning av reduksjonene av klimagassutslipp tilknyttet ulike tiltakspakker, benyttes besparelsen i levert energi for den aktuelle tiltakspakken sammenlignet med tiltakspakke A, som har utgangspunkt i det laveste forbedringsnivået for de generelle tiltakene. Besparelsen i levert energi regnes deretter om til reduksjon av CO₂-ekvivalenter ved bruk av en konverteringsfaktor for CO_{2eq}. CO_{2eq}-faktoren brukes for å omregne besparelsen i levert energi fra kWh til klimagassutslipp for den aktuelle energibæreren. I de simulerte tiltakspakkene er det utelukkende tatt utgangspunkt i elektriske energiløsninger, det vil dermed kun være CO_{2eq}-faktoren for elektrisitet som inkluderes i beregningene. Klimagassutslippene regnes om til CO₂-ekvivalenter ettersom det er utslippene fra karbon dioksid CO₂ som er den dominerende drivhusgassen. [47]

I beregningene av klimagassutslipp fra driftsfasen av bygget benyttes en CO_{2eq}-faktor for elektrisitet på 132 gCO_{2eq}/kWh. CO_{2eq}-faktoren på elektrisitet er antatt og estimert av det norske forskingssenteret for nullutslippsbygg ut fra prognoser for klimagassutslipp for europeisk elektrisitetsmiks og en levetid for bygg på 60 år. [47]

Kapittel 4

Inneklima i omsorgssenter

Et omsorgssenter, eller sykehjem, er en bolig med heldøgns omsorgs- og pleietjeneste. Det vil være et bredt spekter av brukere på et omsorgssenter, med hovedvekt av eldre med et ekstra pleiebehov eller funksjonssvikt, i tillegg til personer med syns- eller hørselshemming, demens eller andre funksjonsnedsettelse. Et sykehjem består av boligfunksjoner og fellesrom, i tillegg til personal- og servicefunksjoner. De forskjellige funksjonene vil ha ulike kriterier for dimensjonering og utforming. [48]

4.1 Inneklimaparametre

Både termisk komfort og energibruk er viktige faktorer som påvirker bygningens ytelse. Oppvarming, ventilasjon og kjøling, faktorer som har stor betydning for inneklima, står for en stor del av den primære energibruken i boliger, næringsbygg og offentlige bygninger. I vurderingen av energieffektive tiltak for omsorgssenter vil det være viktig å vektlegge et godt inneklima for sykehjem i tillegg til energibesparelsen, og ikke bare energibesparelsen for ulike tiltak. [14] Det stilles krav til faktorer som må opprettholdes for å oppnå et godt inneklima. Parametre som påvirker inneklima er blant annet [49]:

- termisk miljø (termisk komfort)
- atmosfærisk miljø (luftkvalitet)
- aktinisk miljø (belysning og stråling)

De nevnte faktorene vil sammen være bestemmende for hvordan mennesker oppfatter innemiljøet i en bolig [49].

4.2 Termisk miljø

Kroppens reguleringsystem ønsker å holde en fast kjernetemperatur. For å opprettholde denne temperaturen har kroppen ulike metoder for regulering, og aktiverer funksjoner for å kjøle ned eller varme opp kroppen. Disse prosessene kan ikke kontrolleres direkte, og vil være avhengig av personlige faktorer. [50]

Den operative temperaturen defineres som den uniforme temperaturen til omkringliggende overflater og luft som resulterer i den samme temperaturen som det virkelige miljøet. Operativ temperaturen blir regnet som den totale virkningen av varmeoverføring fra både konveksjon og stråling, og vil påvirkes av begge parametre. Den representerer den følte temperaturen, og det er denne temperaturen som brukes til å bestemme ulike temperaturnivå for inneklimateilstander ved varierende bekledding og aktivitetsnivå. Det vil videre i oppgaven være operativ temperatur som det refereres til ved beskrivelse av faktorer avhengig av temperatur. [49, 50]

Varmetapet for en person avhenger av faktorer som lufttemperatur, gjennomsnittlig strålingstemperatur, lufthastigheten og vandamptrykket i romluften, i tillegg til aktivitetsnivå (Met) og varmeledningsmotstand for bekledding (Clo). Menneskets oppfatning av termisk komfort vil variere fra person til person, og avhenger av tre forutsetninger. Den første er at varmetapet fra kroppen skal være i balanse med varmeproduksjonen. Videre skal hudtemperaturen og svetteproduksjon være innenfor grensene for termisk nøytralitet, altså at en person ikke ønsker å ha det verken varmere eller kaldere. Det siste punktet går ut på at en person ikke skal føle uønsket oppvarming eller nedkjøling lokalt på kroppen, som for eksempel kan forekomme ved trekk. [50]

For å gjøre det mulig å forutse kravene som stilles til termisk komfort, og finne menneskers optimale klimaparametre ved termisk nøytralitet har Fanger utviklet komfortligningen. I tillegg til ligningen har Fanger presentert indeksene for "Predicted Mean Vote"(PMV) og "Predicted Percentage Dissatisfied"(PPD), som brukes for å vurdere avvik fra en ideell komforttilstand. [50]

PMV er en 7-punktskala, fra +3 til -3 der 0 regnes som termisk nøyttalt. Verdien for PMV avhenger av blant annet operativ temperatur, bekledding, aktivitetsnivå og relativ fuktighet. PMV brukes til å forutse en gjennomsnittlig fordeling for hvordan en gruppe mennesker føler seg i forbindelse med det termiske miljøet. PPD gir en verdi som angir prosentvis misnøye i forhold til en gitt PMV verdi, og viser til antallet personer i en større forsamling det antas at vil være misfornøyd ved en gitt tilstand. Det er anbefalt at verdien for PPD holdes under 10 %, hvor minimumsverdien for PPD er 5 % som viser til en PMV verdi på 0. [49]

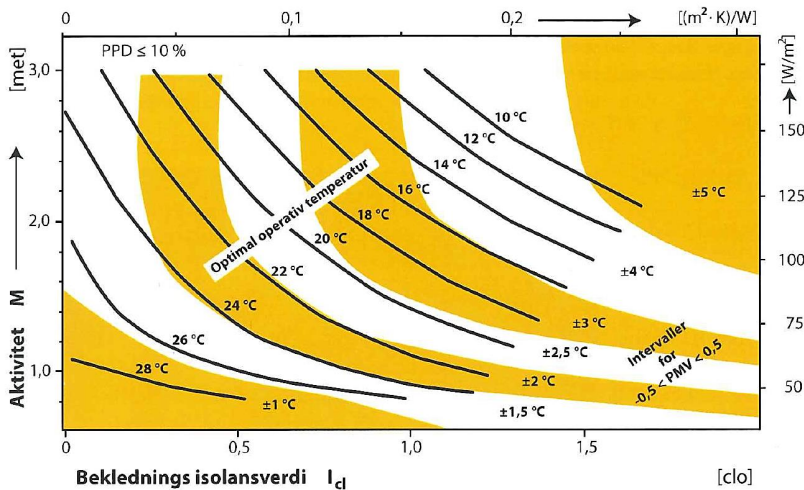
4.2.1 Termisk komfort blant eldre

Forskning av Havenith G. beskriver at evnen til å regulere temperaturnivå i kroppen blir redusert med alderen. Den reduserte evnen til å regulere temperatur vil ha sammenheng

med et lavere aktivitetsnivå. Studier viser at eldre mennesker ikke oppfatter termisk komfort anderledes enn yngre, når bekledding, stoffskifte og romtemperatur blir vurdert, men at et lavere gjennomsnittlig aktivitetsnivå blant eldre vil føre til et redusert stoffskifte og en lavere varmeproduksjon. [51]

Forskningen underbygges av blant annet Tsuzuki, K. og Iwata T. som har utført et forsøk på 80 eldre mennesker. Studiet viser til at eldre ofte har et lavere aktivitetsnivå og dermed et lavere stoffskifte enn yngre personer. Et lavere aktivitetsnivå vil være en av hovedgrunnene til at eldre mennesker ønsker en høyere romtemperatur for å oppnå termisk komfort. [52] Undersøkelser gjennomført av Walker G. et. al. viser på den andre siden at det er viktig at temperaturen heller ikke blir for høy, ettersom for høye temperaturer for eldre vil føre til vanskeligheter med å kjøle ned kroppen. [53] Denne studien kan stemme med forskningen til Havenith G. om at evnen til å regulere temperaturnivået i kroppen reduseres med alderen.

Termisk komfort vil påvirke og er viktig for velvære, sikkerhet og helse for både ansatte og brukere for et sykehjem. Den beste løsningen for å oppgå et godt inneklima for både brukere og ansatte vil dermed være å legge til rette for ulike termiske soner i bygget, både når det gjelder regulering av temperatur og lufthastighet, for å legge til rette for ulike behov tilknyttet termisk komfort. [54]



Figur 4.1: Operativ temperatur ut fra aktivitetsnivå og grad av bekledding

Ut fra kurven over operativ temperatur i Figur 4.1 ønsker gjerne ansatte en operativ temperatur på rundt 18 °C til 20 °C, mens brukerne typisk foretrekker en operativ temperatur på rundt 24 °C. Dette forutsetter et aktivitetsnivå og en bekledding på 2,5 Met og 0,5 Clo for ansatte, og 1,0 Met og 1,0 Clo for brukere. Brukere kan påvirke temperaturen ved å

endre bekleddningsnivå og er dermed gjerne mer tilpasningsdyktige enn ansatte som har et høyere aktivitetsnivå og har aktiviteter og oppgaver som må gjennomføres til bestemte tider. [49]

Temperaturnivå på 20-24 °C er ofte ønskelig i følge internasjonale standarder. I et sykehus vil det for ansatte gjerne ikke være ønskelig med en temperatur over 23 °C, mens det generelt ofte er ønskelig med et temperaturnivå rundt 24 °C til 26 °C for å oppnå termisk komfort for pasientene. [55]

4.2.2 Krav til termisk inneklima

Arbeidstilsynet har utarbeidet en veiledning som beskriver ulike faktorer for inneklima, og informasjon om hvordan faktorene kan måles og kontrolleres. For høye eller for lave temperaturer vil føre til nedsatt prestasjon og arbeidsevne for de ansatte på sykehjemmet og kan føre til redusert våkenhet, det vil dermed være viktig å vurdere valg av innetemperatur. Arbeidstilsynet setter krav for temperaturen avhengig av aktivitetsnivå. [56] For et sykehjem vil det være store forskjeller på aktivitetsnivå mellom brukere og de ansatte, som kan skape en konflikt i forhold til ønskede innetemperaturer [15]. For middels tungt arbeid anbefaler arbeidstilsynet en temperature mellom 16 °C og 26 °C. I tillegg til en valgt operativ temperatur, skal det legges til rette for individuell regulering av temperatur der det lar seg gjøre. [56]

I følge TEK17 bør temperaturen for rom med varig opphold ligge mellom 16 °C og 26 °C for middels aktivitet. Det vektlegges også at temperaturen i rommet skal tilpasses etter bruken og funksjon for rommet, og at det skal legges til rette for individuell styring for å oppnå optimale temperaturforhold. Temperaturvariasjoner på mer enn 3-4 °C mellom føtter og hodet vil føre til ubehag, og en variasjon på mer en ca. 4 °C over dagen bør unngås. [33]

I boliger blir det ofte prosjekter med varierende temperatur for ulike rom, ettersom det vil forekomme ulikt aktivitetsnivå for bad, soverom og stue. For eldre vil det være mest gunstig å holde en mer konstant og jevn temperatur i de fleste rommene, ettersom aktivitetsnivået og bekleddning holdes relativt konstant i hele bygget. I tillegg vil det være viktig med lokal kontroll av temperaturen ut fra ulike preferanser. [51] Fordelene med bruk av individuell kontroll støttes av Van Hoff, j. som presiserer at det ut fra store individuelle forskjeller i ønsket temperatur, og forskjell mellom aktivitetsnivå for brukere og ansatte ved et sykehjem vil være behov for systemer som legger til rette for individuell kontroll av temperatur. Individuell kontroll av det termiske inneklima vil kunne føre til bedre tilfredshet med det termiske miljøet og en høyere faktor av komfort. [57]

I standarder brukes ulike krav for vurdering av PPD for en bygning. Verdien avhenger av grad av bekleddning, aktivitetsnivå, lufttemperaturen, strålingstemperaturen, hastigheten på luften og fuktigheten. Ut fra NS-EN 15251 vises det eksempler på anbefalte verdier av PPD for bygninger med mekanisk oppvarming- og kjøling. Verdien av PPD avhenger av kategorier, og det gis eksempler på verdier av PPD fra 6 % til 15 %. [58]

4.3 Atmosfærisk miljø

Det atmosfæriske miljøet omhandler luftkvaliteten i en bygning. Det finnes mange faktorer til forurensning i luften som kan føre til redusert luftkvalitet. Forurensning kan stamme fra kilder både innendørs og utendørs. Redusert luftkvalitet kan resultere i ubehag grunnet lukt, allergier og irritasjon på slimhinnene, og luftkvaliteten vil oppfattes ulikt fra person til person. Luftkvaliteten blir uttrykt i PPD for å ta hensyn til individuelle forskjeller. [50]

Ventilasjon av en bygning sørger for å fjerne uønskede forurensninger og opprettholde en ønsket luftkvalitet for bygningen. Ventilasjonsraten for å oppnå komfort i en bygning avhenger av blant annet ønsket luftkvalitet, innholdet av forurensning i luften, utendørs luftkvalitet og effektiviteten på ventilasjonsanlegget. Kravene til ventilasjon bestemmes i teknisk forskrift og standard for ulike bygningskategorier. [50]

Redusert luftkvalitet i en bolig vil kunne ha innvirkning på helsen til personer som oppholder seg i bygningen, i tillegg til å påvirke komfort og produktivitet [50]. Mandes A. et al har gjennomført et studie på effekten av luftkvalitet og termisk komfort i sykehjem for eldre. Mandes A. et al. viser i studiet til viktigheten av god luftkvalitet, ettersom eldre mennesker tilbringer i gjennomsnitt mellom 19 og 20 timer daglig innendørs. Det blir i tillegg lagt vekt på at eldre ofte er mer utsatt for skadelig påvirkninger av luftforurensninger på grunn av et dårligere immunforsvar. [59]

Viktigheten av god luftkvalitet for eldre underbygges også i en studie gjennomført av Bentayeb M. et al. på 600 eldre mennesker boende på sykehjem i 7 ulike land i Europa. Studien viser til at eldre ofte er mer utsatt for påvirkningen av forurensninger i inneluften, og at størrelsen på forurensninger var høyest i sykehjemmene med dårlig ventilasjon. Studien viste at selv lavere konsentrasjoner av forurensninger ville kunne påvirke og føre til problemer relatert til luftveiene for eldre. Betayeb M. et al. presiserer som Mandes A. et al. at eldre tilbringer mesteparten av tiden innendørs. Det blir i tillegg lagt til at blant annet relativ fuktighet (RF) og CO₂-konsentrasjon kan føre til problemer med luftveiene. Luftveisplagene som var hyppigst beskrevet var andpusthet, hoste, slimoppsamling og plystrelyder. [60]

Verdier av RF bør som en hovedregel være mellom 30 % og 70 %, ettersom relativ luftfuktighet kan påvirke slimhinner i tillegg til risikoen for å bli forkjølet eller få allergier. Opplevelsen av tørr luft vil likevel ikke bare være avhengig av verdien av RF, men kan ofte forekomme på grunn av brent støv i rommet. [49]

Ved en RF høyere enn 70 % over en lengre periode vil det være fare for fukt og vekst av muggsopp for bygninger. I tillegg vises det i en rapport utgitt av Folkehelseinstituttet til at det kan forekomme muggvekst ved lavere relative fuktigheter ved store konsentrasjoner av skitt og støv på materialer, enn for rene materialer. Studier viser at inneklime med fukt og forekomst av mugg vil ha negativ innvirkning på komforten og har en sammenheng med luftveisrelaterte sykdommer og allergier. [61]

4.3.1 Krav til atmosfærisk miljø

Omsorgssenter fungerer som en bolig, men ettersom bygget har funksjon som institusjon med pasientrom vil kravene til luftkvalitet fra TEK17, ut fra kommunikasjon med Lyngstad, P. fra direktoratet for byggkvalitet, bestemmes av kravene til "byggverk for publikum og arbeidsbygninger". [62]

Generelle krav er at ventilasjonsanlegget skal tilfredsstillende kravet til luftkvalitet ved å tilpasse ventilasjonen etter blant annet rommets bruk, aktivitetsnivå, personbelastning og kilder for fukt. Inneluften i bygget skal ikke ha konsentrasjon av forurensninger som fører til helseskader. I tillegg skal ventilasjonsanleggets utforming sikre at inneluften ikke påvirkes av forurensninger i uteluften. [33]

Tilfredsstillende tilførsel av frisk luft til omsorgssenter blir bestemt ut fra kriteriene [33]; A) forurensninger fra personer, B) forurensninger fra materialer, produkter og installasjoner og C) forurensninger fra aktiviteter og prosesser. For å finne behovet for tilførsel av frisk luft, skal verdien for (A+B) sammenlignes med verdien for C, der den høyeste av verdiene setter kravet til dimensjonerende luftmengde for bygget. Det settes krav til en minste luftmengde på $26 \text{ m}^3/\text{h}$ per person for lett aktivitet, og høyere luftmengder ved høyere aktivitetsnivå. I tillegg skal det dimensjoneres for en luftmengde på $2,5 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ dersom rommet er i bruk, og $0,7 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ for rom som ikke er i bruk. [33]

I følge arbeidsmiljøloven settes det krav til at forurensninger skal stanses ved kilden, og at luftmengder skal behovsvurderes. Det skal tilføres en luftmengde på $7,0 \text{ l/s}$ per person, i tillegg til $0,7\text{-}2,0 \text{ l/s m}^2$ gulv areal. For prosesser og aktiviteter skal det i tillegg tilføres 1 l/s . Ved høyere temperaturer enn $22 \text{ }^\circ\text{C}$ settes det krav til høyere luftmengder. Videre settes det krav til et maksimalt nivå av CO_2 på 1000 ppm . [56]

4.3.2 Utforming av ventilasjonsanlegg

Ventilasjon står for en betydelig andel av energibruken i bygninger, og det vil dermed være av betydning å sikre en energieffektiv systemløsning, samtidig som et godt inneklima opprettholdes. Et effektivt og riktig dimensjonert ventilasjonssystem vil kunne bidra til å oppnå god luftkvalitet, sikre energibesparelse og fremme god helse for et bygg. [63] Studier som har undersøkt påvirkning av helse ved reduksjon av luftmengder, har konkludert med at reduserte luftmengder vil kunne føre til redusert helseeffekt og større sykefravær. [63]

Løsninger for ventilasjon

Ventilasjon kan styres ut fra tre ulike metoder, enten ved bruk av konstante luftmengder (CAV), variable luftmengder (VAV) eller ved behovstyrt ventilasjon (DCV). Ved bruk av et CAV-system tilføres rommet en konstant luftmengde, mens tilluftstemperaturen varieres ut fra varmebehovet i rommet. For et system med VAV holdes lufttemperaturen konstant, mens luftmengdene varieres ut fra varmetilskuddet. DCV er en ventilasjonsmetode med varierende luftmengder. Størrelsen på tilførte luftmengdene bestemmes ut fra faktorer som temperaturnivå, CO_2 -konsentrasjonen i rommet eller tilstedeværelse. [50]

4.4 Aktinisk miljø

Aktinisk miljø innebærer faktorer som belysningsnivå, andelen dagslys, fargeegenskapene til lyskilder, i tillegg til flimring og blending fra lyskilden. [49] Lys deles generelt inn i dagslys og kunstig belysning, der begge faktorene er viktige for å oppnå et godt innemiljø. Lyset blir ofte beskrevet av begreper som lyst, mørkt, kaldt eller varmt. [64]

Lys er en viktig faktor for helse og trygghet for mennesker, og vil også være viktig for aktivitetsnivå og synsytelse. Belysningen i et bygg påvirker trivsel, og dårlig belysning vil kunne skape irriterte øyne, i tillegg til trøtthet, redusere effektiviteten og resultere i hodepine. Synsevnen reduseres med alderen, og eldre mennesker vil dermed trenge mer lys for å se like godt som yngre. [65]

En studie gjennomført av Verdens helseorganisasjon (WHO) viser til at belysning har påvirkning på menneskers fysiske- og psykiske helse. Videre viser studien at en oppgradering av lysanlegget på arbeidsplassen vil kunne være med på å redusere sykefraværet og øke effektiviteten blant ansatte. [66]

4.4.1 Synet og aldring

Synet endrer seg med alderen og eldre har ofte dårligere syn enn yngre personer. Aldersprosessen kan blant annet føre til vanskeligheter med å tilpasse synet til lysnivå, gulning av linsen som gjøre at øynene er veldig sensitive for blending, redusert synsskarphet og føre til en redusert pupillstørrelse som skaper et innsnervet synsfelt. [67] En kombinasjon av en redusert pupillstørrelse og sensitivitet for blending medfører en reduksjon av lys inn på øyet med to tredjedeler for en 60-åring til sammenligning med en 20-åring. [68]

En studie gjennomført av Sinoo, Marianne M et al. på lysforhold i sju nederlandske sykehjem viser at det ofte er dårlige lysforhold på sykehjem for eldre ved at lysanlegg er for dårlig dimensjonert, og at det er lagt opp til for lave lysnivå. Studien viser at flertallet av sykehjemmene som ble undersøkt hadde vesentlig lavere lysnivå enn hva som er anbefalt ut fra standarder og forskrifter. Resultatet fra studien viser videre at tilstrekkelig tilgang på dagslys og høye belysningsnivå, vil kunne ha en positiv effekt på den biologiske klokken og resultere i bedre søvnkvalitet hos eldre. [69]

For dimensjoneringen av et belysningsanlegg må belysningsnivået til rommet bestemmes ut fra hvilke aktiviteter rommet er dimensjonert for. Ved bruk av individuell styring, dimming av belysningen og plassbelysning er det mulig å skape tilfredsstillende belysning for lyskrevende aktiviteter uten å øke energibruken til belysning for hele rommet. [68] Energiforbruket til belysning avhengig av bygningskategori, men utgjør ofte mellom 15 % og 25 %, det vil dermed være stort potensiale for besparelse av energi ved å redusere energibruken til belysning [65].

4.4.2 Krav til aktinisk miljø

I teknisk forskrifter TEK17 settes det krav til at bygget skal legge til rette for tilfredsstillende belysning for arbeidsoppgaver som skal utføres, uten sjenerende varmebelastning fra belysningen. Forskriften legger vekt på at gode lysforhold er viktig for helse, trivsel og effektiviteten av arbeidsoppgaver. Det utdypes videre at rom beregnet for varig opphold skal ha vindu som gir tilstrekkelig tilgang på dagslys. [33]

Tilfredsstillende belysning er i følge standarden NS-EN15251 mulig å oppnå ved bruk av dagslys og kunstig belysning, men ut fra energi og helseperspektiv, vil det være mest fordelaktig å benytte dagslys i størst mulig grad. Videre skal kvaliteten av belysningen vurderes ut fra belysningsstyrken i rommet. [58]

Standarden NS-EN12464 viser at det for helseinstitusjoner er anbefalt en belysningstyrke på 200 lx for venterom og korridorer med flere bruksområder. Verdien for områder tilrettelagt for lesing og håndarbeid anbefales en verdi på mellom 300 lx og 1000 lx for helsebygg, som vil kunne være aktuelt for belysning av en stue eller fellesrom for et sykehjem. Det bør i tillegg legges til rette for mulighet for å variere styrken på belysningen i rommet ut fra aktiviteten rommet er dimensjonert for. [70]

4.5 Evalueringskriterier for inneklima av tiltakspakker

Ettersom det er viktig å opprettholde et godt inneklima for sykehjem med pleietrengende brukere, vil det være nødvendig å sette krav for evaluering av de inneklimatiske forholdene ved simulering av energieffektive tiltak. Ut fra vurderingskriterie i IDA ICE og krav til termisk komfort i Kapittel 4.2.2 er det fastsatt et krav til en maksimal operativ temperatur på 27 °C for evalueringen av termisk inneklima for ulike tiltak. Øvre grense for prosentandelen av tiden som temperaturen i bygget er over den maksimale operative temperaturen blir i evalueringen satt til 10 % gjennomsnittlig over året. PPD verdien skal som beskrevet i kapittel 4.2 holdes under 10 %. Videre blir det tatt utgangspunkt i et maksimalt nivå av CO₂ på 1000 ppm, som beskrevet i Kapittel 4.3.1. Siste inneklimatiske faktor som vurderes er RF som ut fra Kapittel 4.3 har blitt satt til å være mellom 30 % og 70 %. Verdiene for inneklima beregnes i IDA ICE og sammenlignes med fastsatte verdier og krav oppgitt i Tabell 4.1 for å evaluere om inneklima opprettholdes for utvalgt tiltak.

Tabell 4.1: Krav for evaluering av inneklimatiske forhold for simulerte tiltak

Evalueringskriterier for inneklimatiske forhold	Verdi
Maksimal operativ temperatur i bygget over året	< 27 °C
Antall timer med en operativ temperatur over 27 °C	< 10 %
Antatt prosentvis misfornøyde (PPD)	< 10 %
Maksimalt nivå av CO ₂ for bygget	< 1000 ppm
Minimal RF	30 %
Maksimal RF	70 %
Miste tillatte belysningsstyrke	200 lx

Kapittel 5

Energibruk for omsorgssenter

Sykehjem er en bolig med døgnekstrem drift gjennom året, til forskjell for boliger [48], dette må inkluderes i analysen av mulige energieffektive tiltak for omsorgssenter. I forhold til sykehus vil imidlertid et sykehjem ha mindre energikrevende teknisk utstyr, ettersom det vil stilles strengere krav til infeksjon- og smittefare for sykehus. [71]

5.1 Potensiale for energibesparelse

I følge en rapport utarbeidet for Enova i 2012 vil det største potensialet for energibesparelse for bygninger generelt ligge i tre hovedkategorier [72]:

1. En god bygningskropp, der det vil være mulig å redusere energibruken betydelig ved å velge best mulige bygningsstandard
2. Reduksjon ved forbedret ytelse for tekniske installasjoner i bygningen, og ved å velge utstyr med best mulig kvalitet
3. Prioritering for bruk og drift av bygningen, med fokus på energiledelse og kompetanse

For det siste punktet vil det være et stort potensiale ved å fokusere på god energiledelse, med et godt energioppfølgingssystem og personal som kan drifte det tekniske styringssystemene mest mulig optimalt. Eier av bygget vil da ha et ansvar for hvilket utstyr som tas i bruk og hvordan bygget og utstyr driftes. Det vil være mulig å investere i gode og robuste løsninger for energieffektivisering dersom kunden er bevisst og ønsker å oppnå best mulig resultat. Det vil i tillegg være viktig å innføre gode rutiner for bruk av energi hos brukere og ansatte. [72]

5.2 Forbruksmønster for omsorgssenter

Spesifikt energibruk for sykehjem er i følge bygningsstatistikk utarbeidet i 2016 fra NVE antatt å være 239 kWh/(m²/år) med bakgrunn i verdier fra 2013. Data i rapporten er hentet fra Statistisk Sentralbyrå (SSB). Bygningsstatistikken fra NVE viser at de største energipostene på sykehjem typisk er energi til oppvarming, ventilasjon, belysning, tappevann og el. spesifikt energibehov. Forbruket til oppvarming av tappevann varierer i følge bygningsstatistikken mye for de ulike sykehjemmene som er vurdert. El. spesifikt energibehov innebærer i statistikken blant annet elektrisitet til drift av vaskeri, kjøkken og pumper. [73]

I følge studier utført av Multiconsult, og Analyse og Strategi på oppdrag fra Enova, vil gjennomsnittlig netto energibehov for sykehjem ut fra ulike bygningsstandarder være som vist i Tabell 5.1 [72]:

Tabell 5.1: Spesifikt netto energibehov for sykehjem (Utarbeidet fra [72])

Aktuell TEK	Netto energibehov (kWh/m ²)
Lavenergi	145
TEK 10	189
TEK 07	248
TEK 97	317

I en rapport utarbeidet av Enova SF om markedsutviklingen for 2017 viser resultatene fra analyse av målinger at energibruken per areal for sykehjemsbygg har blitt gradvis redusert fra resultater fra 2011 og frem til 2016. Dette til tross for at den totale energibruken til bygg øker på grunn av økning i bygningsmassen. Den reduserte energibruken per areal kan komme av at det bygges nye sykehjem som er mer energieffektive og som dermed vil redusere den gjennomsnittlige energibruken til denne typen bygninger. [74]

Økern sykehjem er et sykehjemsbygg i Oslo som ble rehabilitert i 2014. Rehabiliteringsprosjektet er et FutureBuild-prosjekt, med fokus på reduksjon av klimagassutslipp og høy kvalitet [75]. Økern sykehjem klarte ved rehabilitering å redusere energibehovet for det nyeste av to bygg som ble rehabilitert med 68 %, der varmtvann, ventilasjon og belysning stod for den største reduksjonen. Den endelige energibruken for Økern sykehjem resulterte i en verdi på 143,2 kWh/m²år. [76]

5.3 Energieffektivisering av omsorgssenter

Flere studier gjennomført for sykehus viser til at sykehus og andre helseinstitusjoner er store og energiintensive bygninger, som vil stå for en betydelig andel av klimagassutslippene. Til forskjell fra boliger og andre næringsbygg vil helseinstitusjoner være i bruk døgnet rundt, være komplekse og ha strengere krav til blant annet ventilasjon og teknisk utstyr, som vil resultere i en større bruk av energi. Energibruken for sykehus varierer og avhenger av blant annet størrelse og type sykehusbygning, i tillegg til plassering og bygningssystem. [16, 77]

Studie gjennomført av Kolokotsa, D. et al. viser til at den potensielle energibesparelsen for sykehus er stor, og kan variere fra 20-50 %. Kolokotsa, E. et al beskriver at energibesparelsen kan oppnås ut fra to metoder. Den første er ved forbedring av bygningskonstruksjon og bruk av avansert og effektivt teknisk utstyr. Metoden innebærer bruk av nye og bedre materialer, systemer og tekniske komponenter. Den andre metoden legger vekt på bevisstgjøring og opplæring av brukere og ansatte for mer effektiv bruk av energiressurser. [3]

5.3.1 Tiltak for energieffektivisering

Singer B. og Tschudia W. har gjennomført en studie med mål om å lage en fremgangsmåte for å forbedre energieffektivitet i sykehus og helseinstitusjoner. Studiet er gjennomført på grunnlag av workshop, intervjuer og analyse av potensial for energibesparelse. I studiet blir blant annet automatisk og effektiv styring av ventilasjon og oppvarmingsystem, i tillegg til høy effektivitet på tekniske systemer, nevnt som tiltak som vil kunne resultere i en stor energibesparelse. Andre tiltak vil kunne være effektiv, robust og pålitelig styring av belysning, strengere bygningsstandard, i tillegg til å legge til rette for god informasjon og opplæring i effektiv energibruk. [71]

Bruk av tiltak som effektive elektriske motorer, energibesparende belysning i form av LED (lysemitterende dioder) lys og termisk lagring i tillegg til ulike former for fornybar energiproduksjon for sykehus blir beskrevet som gode energieffektive tiltak i studie gjennomført av Kolokotsa, D. et al. I tillegg vektlegges optimal drift og styring av bygningsssystem som ventilasjon, solceller og solskjerming, for å oppnå energibesparelse. Det blir i studiet presisert at implementering av enkle løsninger for bevaring av energi vil kunne gi en besparelse på opp mot 10 % av primært energibehov, og at fokus på optimal drift har et betydelig potensiale for besparelse. [3]

I et studie gjennomført av Vanhoudt, D. på et sykehus i Belgia, blir det spesifisert at helsesektoren trenger energieffektive løsninger med lave driftskostnader for å dekke opp for et stort oppvarmings- og kjølebehov. Løsninger som innebærer bruk av fornybar energiproduksjon og termisk lagring blir nevnt som spesifikke tiltak for å redusere energibruken. Termisk lagring vil i tillegg til å redusere energibruken, samtidig redusere et voksende kjølebehov i bygninger. En løsning med bruk av varmepumper i kombinasjon med lagring av termisk energi i akvifer ble brukt i sykehuset. Løsningen resulterer i en betydelig reduksjon i bruk av primærenergi og utslipp av klimagasser. Studien viser at det vil være mulig å oppnå et veldig effektivt oppvarmings- og kjølesystem med et godt design av løsninger med varmepumpe og termisk lagring. [78]

I en rapport utarbeidet av SINTEF konkluderes det med at tiltak for energibesparelse og potensialet avhenger av type bolig, alder og standard på boligen. Rapporten viser videre til at energibesparende tiltak for enkelte boliger kan føre til ulemper, ved for eksempel at en tettere bygningskropp kan skape et behov for høyere energibruk til ventilasjon. Rapporten viser også til at den totale energibesparelsen ved implementering av flere tiltak, ikke nødvendigvis tilsvare summen av besparelsen for individuelle tiltak. [29]

Institutt for energiteknikk beskriver i en rapport om energieffektivisering i bygninger at det er viktig å gjennomføre energieffektive tiltak i riktig rekkefølge for å få et optimalt

system. Det er viktig å starte med å etablere et energioppfølgingssystem som synliggjør bygningens bruk av energi. Deretter bør energibruken reduseres, ved å gjennomføre tiltak som blant annet isolering og utskifting av vinduer. Videre bør det implementeres effektivt teknisk utstyr og gjenvinnes energi fra eksisterende anlegg, som for eksempel med varmegjenvinning av ventilasjonsluften og mer energieffektivt belysningsystem. Det bør deretter etableres et effektivt styringssystem for blant annet belysning, ventilasjon og utstyr for oppvarming. Til slutt bør det gjennomføres optimalisering av energiproduksjonen, med implementering av varmepumpe, system for utnyttelse av solenergi eller lignende. Dersom tiltak for å optimalisere energiproduksjonen gjennomføres før tiltak for å redusere energibruken og gjenvinne energi i systemet, vil systemet for energiproduksjon kunne bli overdimensjonert. [79]

Enkelte tiltak vil ikke fungere bra i kombinasjon, eller vil være unødvendige å kombinere. Det vil for eksempel ikke være nødvendig å implementere mekanisk kjøling dersom det ikke er noe spesielt kjølebehov i bygget, eller det er mulig å oppnå et godt kjølesystem ved bruk av passive tiltak. Et annet eksempel er at det ved bruk av enkle- eller passive tiltak er mulig å oppnå en stor energibesparelse for oppvarming. Det vil da ikke være økonomisk lønnsomt eller miljøvennlig å investere i et stort og dyrt oppvarmingssystem. [2, 80]

Hamdy M. et al har i en studie undersøkt muligheter for å lage en metode for å optimalisere prosessen med undersøkelse av tiltak for energieffektivisering. Metoden baserer seg på evaluering ved bruk av en algoritme og detaljerte simuleringsprogram, i tillegg til å bruke tre steg som viser effekten av kombinasjoner av tiltak. Ut fra fasene som er foreslått vil det være mulig å velge foretrukne system for bygningen ut fra kostnad og miljøpåvirkning. Evalueringen er basert på følgende tre faser [80]:

- Første fase går ut på å finne optimale kombinasjoner av tiltak som påvirker termiske ytelsen til bygget.
- Den andre fasen undersøker miljø og økonomisk gevinst ved å implementere et utvalgt oppvarming- og kjølesystem til den foretrukne kombinasjonen av tiltak fra første fase.
- Den siste fasen undersøker økonomisk- og miljømessig gevinst av den optimale løsningen for bygningskroppen og valgt VVS-system undersøkt i trinn 2. Fase tre undersøker også implementering av fornybar energiproduksjon i kombinasjon med varme og elektrisitetsproduksjon.

Energieffektive tiltak for Eidet omsorgssenter og sykehjem generelt blir videre undersøkt i underkapitlene under.

5.3.2 Forbedring av bygningskroppen

Bygningskroppen er byggets beskyttelse mot utvendig påvirkning, og har stor betydning for kvaliteten på og reguleringen av inneklime i et bygg. [81] En effektiv bygningskropp som reduserer varmetapet og sikrer en stabil innetemperatur, vil være et godt tiltak for å redusere energibruk for sykehus samtidig som det opprettholdes et godt termisk inneklime. [82]

En forbedring av bygningskroppen for helsebygg kan oppnås med en større andel isolasjon, bedre vinduer, installering av solskjerming og reduksjon av kuldebroer. [82] I studien gjennomført av Hamdy, M et al. foreslås det energieffektive tiltak som isolering av yttervegg, tak og gulv, utskiftning av vinduer og dører, og system for solskjerming, i tillegg til tetting av bygningskroppen, for å redusere andelen kuldebroer for bygget og forbedre lekkasjetallet. Studiene tar for seg forbedring av en enebolig i Finland og tar utgangspunkt i kombinasjoner av tiltak som dekker dagens byggeteknisk forskrift, i tillegg til tiltak for å oppnå nullutslippsbygg med utgangspunkt i passivhusstandarden i kombinasjon med solceller og solfangere for produksjon av energi og varme. [2]

I byggeteknisk forskrift settes det krav til energieffektive tiltak for bygninger. Kravene innebærer blant annet å stille krav til u-verdier for ulike bygningskomponenter, krav til tetthet og lekkasjetall for byggverket. Det oppgis også enkelte ytelseskrav for ulike bygningskategorier. I tillegg til TEK17 gir Norsk Standard og SINTEF Byggforsk nyttige retningslinjer for å oppnå forskriftskravene. [33]

Oppgradering til bedre standarder som passivhus og lavenergiboliger, vil kunne skape både fordeler og ulemper. Noen av fordelene er at bygningskroppen får en bedre kvalitet, og kvalitetssikring for å kontrollere at kravene opprettholdes. I tillegg vil byggene kunne oppnå en bedre komfort, med jevnere temperatur, og redusert forekomst av for eksempel kaldras fra vinduer og kalde partier i boligen. Samtidig vil en slik oppgradering føre til økt investering, med strengere krav til bygningen og tekniske installasjoner. [83]

Kravene til teknisk forskrift, passivhusstandarden og standarden for lavenergibygninger er listet i Tabell 5.2 [33]:

Tabell 5.2: Minimumskrav til energieffektivitet for ulike standarder

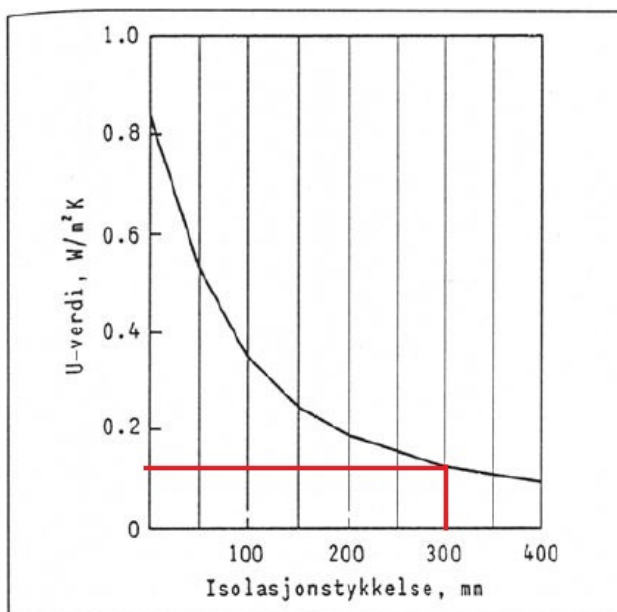
Konstruksjonsdel	Standard		
	TEK17 (W/m ² · K)	Passivhus (W/m ² · K)	Lavenergibbygg (W/m ² · K)
Yttervegg	0,22	0,10-0,12	0,15-0,16
Tak	0,18	0,08-0,09	0,10-0,12
Gulv	0,18	0,08	0,10-0,12
Vindu/dør	1,2	0,8	1,2
Normalisert kuldebroverdi	0,07 (boligblokk)	0,03	0,05
Lekkasjetall (n ₅₀)	1,5 (h ⁻¹)	0,6 (h ⁻¹)	1,5 (h ⁻¹)
Netto spesifikt energibehov til oppvarming (kWh/(m ² · år))	195 (230)*	20	30

* Kravet som er listet i parentes i tabellen gjelder for bygninger som ikke kan benytte varmegjenvinning av ventilasjon grunnet fare for smitte og spredning av forurensninger. [33]

Ved etterisolering av bygningskroppen er det viktig å fokusere på faktorer som fukt og luftkvalitet. Etterisolering av rehabiliteringsprosjekt vil kunne skape fuktproblem, eller at

bygningen blir for tett. Det vil dermed være viktig å vurdere tiltakene ut fra faren for fukt og en evt oppgradering av ventilasjonsanlegget for å sikre tilstrekkelig luftkvalitet i boligen. [84]

Tykkere isolering av yttervegg, tak og gulv vil gi en bedre u-verdi, og dermed et mindre varmetap for bygningen. Det er imidlertid viktig å tenke på at forholdet mellom forbedringen i u-verdi og isolasjonstykkelse ikke vil ha en lineær endring. Figur 5.1 viser en graf over reduksjon i u-verdi med økende isolasjonstykkelse, der grafen har form som en hyperbol. Figuren viser at reduksjonen i u-verdi blir mindre etterhvert som det oppnås en bestemt isolasjonstykkelse. I figuren begynner grafen å stabilisere seg rundt en isolasjonstykkelse på omtrent 300 mm til 350 mm, en ytterligere økelse i tykkelse vil ikke gi betydelig reduksjon i u-verdi. [36]



Figur 5.1: Reduksjon i u-verdi ved økt isolasjonstykkelse (utarbeidet fra [36])

Med en reduksjon av kurven for u-verdi og isolasjonstykkelse som vist i Figur 5.1, vil samtidig kurven for investeringskostnad øke med økt isolasjonstykkelse. I tillegg til at andelen av nyttbart areal reduseres ved en stor økning i isolasjonstykkelse. Kostnaden ved tykkere isolasjon vil også variere ut fra energiprisen, ettersom investeringskostadene sammenlignes med besparelse i kostnaden til drift av bygget. [36]

Det blir i simuleringene av Eidet omsorgssenter og tiltakspakker generelt for sykehjem i denne oppgaven tatt utgangspunkt i simuleringer for å oppnå standard og forskriftskrav ut fra henholdsvis TEK17 og passivhusstandard, i tillegg til en mellomliggende verdi.

5.3.3 Energieffektivt oppvarmings- og kjølesystem

For et bygg vil det være fordelaktig å benytte varmfordelingssystem med store overflater til oppvarming av rommet ut fra påvirkningen på komfort og inneklima, til fordel for system med punktvarme. Ved bruk av oppvarming over store overflater er det mulig å oppnå termisk komfort i bygget ved et lavere temperaturnivå. Det vil i tillegg redusere risikoen for støvbrenning som reduserer luftkvaliteten i bygget. Lavtemperatur oppvarmingskilder er ønskelig å benytte for bygninger med et lavt eller relativt lavt oppvarmingsbehov, der det ikke er nødvendig å benytte radiatorer under vinduer for å hindre kaldras. [85]

I teknisk forskrift settes det krav til bruk av energifleksibelt oppvarmingssystem for bygninger over 1000 m^2 . Dette kravet vil ofte gjelde for sykehjem, ettersom sykehjem ofte er store bygninger. Et vannbårent oppvarmingssystem gir mulighet for energifleksibilitet og er driftssikkert, ved at det kan kombineres med ulike teknologier for fornybar varmeproduksjon som solvarme eller grunnvarme ved bruk av berg- eller jordvarmepumpe. Energifleksibiliteten er viktig ettersom enkelte av disse teknologiene kun er tilgjengelig på bestemte tider og ikke nødvendigvis produserer varme når oppvarmingsbehovet er størst. I tillegg legger et vannbårent systemet til rette for varmelagring for bygget. [29, 85]

Det er mulig å bruke både luftkjølte og vannkjølte alternativer for kjølesystem i et bygg, der det for større bygg foretrekkes å bruk et vannkjølt system. Tek, A. og Timur, O. har gjennomført en studie der forskning på energieffektivitet og besparingspotensial for oppvarmings- og kjølesystemer for sykehus blir presentert. I studien vises det til at det vil være viktig å fokusere på en effektiv systemløsning, effektive komponenter og et godt kontrollsystem for å redusere energibruken til kjølesystem for sykehus. Ved et godt dimensjonert anlegg vil det i følge studien være mulig å spare 30-50 % av energibehovet for kjøling. I tillegg vises det til at det vil det være viktig å sikre godt vedlikehold av systemet for å opprettholde effektiviteten til kjølesystemet, og dermed sikre lav energibruk for systemet. [54] Ved bruk av varmepumpe i et anlegg som dimensjoneres for kjøling, dimensjoneres varmepumpen ofte for å dekke maksimalt effektbehov. Det vil være mulig å dimensjonere for frikjøling ved bruk av varmepumpe med varmekilder som sjø-, fjell- og grunnvann for å dekke hele eller deler av kjølebehovet for bygget. [86]

En studie gjennomført av Georges L. et al. viser til at anbefalt oppvarmingsløsning for et bygg vil variere ut fra oppvarmingsbehovet. Resultatet av studien viser at en løsning med bruk av varmepumpe eller pelletsovn ville være lønnsomt for et bygg med et høyt oppvarmingsbehov. Disse løsningene vil samtidig ikke nødvendigvis være lønnsomme, ut fra investering og påvirkning på miljøet, for et bygg med et lavere oppvarmingsbehov. [87]

5.3.4 Fornybar energiproduksjon

Bruk av fornybare teknologier til oppvarmingen av et bygg, vil kunne bidra til å redusere klimagassutslippet fra bygningssektoren. I en rapport med alternativer for å redusere klimagassutslipp fra byggsektoren i Norge utgitt av NVE oppgis en tabell over virkningsgrader for ulike oppvarmingssystem. Ut fra tabellen vises det at løsninger med bruk av

blant annet solfangere og ulike typer varmepumper vil være effektive løsninger for oppvarming av næringsbygg. I tillegg vil det for næringsbygg være en betydelig besparelse ved bruk av løsninger med fjernvarme og kjel med bruk av bioenergi. [85] Det vil også være mulig å benytte en løsning med bruk av varmelagring i materialer med faseendring (PCM) eller andre sesongbaserte lagringsalternativer for å redusere energibruken til oppvarming- og kjøling av bygninger [54].

Studien gjennomført av Hamdy M. et al. evaluerer et oppvarmingsssystem med grunnvarmepumpe til oppvarming i kombinasjon med solceller for produksjon av elektrisitet, som et effektivt oppvarmingsalternativ for en bolig i Finland. En bergvarmepumpe er et indirekte elektrisk oppvarmingsystem, som vil si at den bruker elektrisitet for å produsere varme. Ettersom varmepumpen har en høyere effektivitet enn direkte bruk av elektrisitet, vil det være mer økonomisk og miljøvennlig å bruke en varmepumpe til oppvarming. I studien vises det til at dersom en løsning med varmepumpe kombineres med bruk av solceller som produserer elektrisitet, vil det være mulig å oppnå en effektiv og god løsning for oppvarming av bygget. [2] I en studien gjennomført av Self, S et al. sammenlignes en grunnvarmepumpe med andre oppvarmingsystem ut fra blant annet kostnad og utslipp av CO₂. Resultatene fra studien viser at en grunnvarmepumpe vil være en effektiv løsning, med lave energikostnader. Samtidig vil en løsning med grunnvarmepumpe gjøre det mulig å redusere utslippene av CO₂ betraktelig i forhold til direkte bruk av elektrisitet. [88]

Iqbal, U har gjennomført en studie på potensialet for utnyttelse av solfangere i kombinasjon med sesonglagring av varme for å dekke hele oppvarmingsbehovet for en norsk husholdning. I studien belyses problemet med at varmeproduksjonen fra solen er størst om sommeren når oppvarmingsbehovet er lavest, og minst om vinteren når behovet for energi til oppvarming er størst. Studien viser videre til ulike metoder for å sesonglagre varme produsert av solfangere, til bruk om vinteren, der løsninger med bruk av for eksempel BTES, altså bruk av energibrønner for varmelagring, vurderes. Resultatet fra studien viser at det ikke vil være mulig å dekke hele oppvarmingsbehovet for norske boliger med et system bestående av solfangere og BTES. Resultatene viser imidlertid at det vil være mulig å dekke en betydelig andel av energibehovet til romoppvarming og varmtvann, da spesielt om sommeren. [89]

En annen mulighet for energieffektivisering er bruk av en combined heat and power (CHP) plant, som vil kunne være et effektivt alternativ. En CHP produserer både varme som kan brukes til oppvarming av bygget og elektrisitet, som er billigere enn elektrisitet kjøpt fra strømmettet. Ved bruk av en CHP vil det være mulig å oppnå en effektivitet på mellom 87 % og 92 %, til fordel for et konvensjonelt oppvarmingsystem som kan oppnå en effektivitet på rundt 60 %. En CHP vil kunne være en god løsning for bygninger som sykehus og sykehjem som har et stort oppvarmingsbehov i tillegg til et stort behov for elektrisitet for drift og teknisk utstyr. [54]

Dimensjonering av varmepumpe

Et system med varmepumpe overfører varme fra en ekstern varmekilde ved lav temperatur til et arbeidsmedium ved høyere temperatur, ved bruk av elektrisitet. En varmepumpe kan benytte ulike varmekilder, der sjøvann, grunnvann og berg er vanligst for større bygg. [86]

Effekt faktoren (COP) for en varmepumpe beskriver energieffektiviteten for anlegget ved en bestemt driftstilstand, og beregnes ut fra forholdet mellom levert effekt og tilført elektrisk effekt. En høyere COP tilsvarer en høy energibesparelse. For bygningsoppvarming vil det være mulig å oppnå en COP-verdi for varmepumper på mellom 2 og 5. [86] En varmepumpe med vann-til-vann prinsipp vil gjerne ha en COP mellom 3 og 4 [85].

Systemer med grunnvarmepumpe kan benytte tre ulike varmekilder; grunnvann, berg, og jord. Ved bruk av en varmepumpe med berg som varmekilde bores det energibrønner ned i bakken med en dybde på mellom 80 og 250 meters dybde. I grunnen vil det være en relativt stabil temperatur over året ved dybder større enn 10 til 15 meter, som sikrer stabil drift av varmepumpen. Varmeuttaker for varmepumpen vil i gjennomsnitt være 30 til 40 W/m i varmedrift og 80 til 100 W/m for kjøledrift. [86]

Det er vanlig å dimensjonere en varmepumpe til romoppvarming som grunnlast i et oppvarmingssystem for å dekke 40 til 70 % av netto effektbehov ved dimensjonerende utetemperatur (DUT) for det aktuelle området. Videre dimensjoneres varmepumpen for å dekke maksimalt effektbehov for kjøling, ved bruk av et varmepumpesystem for både oppvarming og kjøling. [86] Videre vil det være viktig å sikre en riktige dimensjonering og størrelse på anlegget, ettersom overdimensjonering av en grunnvarmepumpe med borehull ofte fører til betydelig høyere investeringskostnad enn andre oppvarmingssystem. [90]

Potensiale og dimensjonering for utnyttelse av solenergi

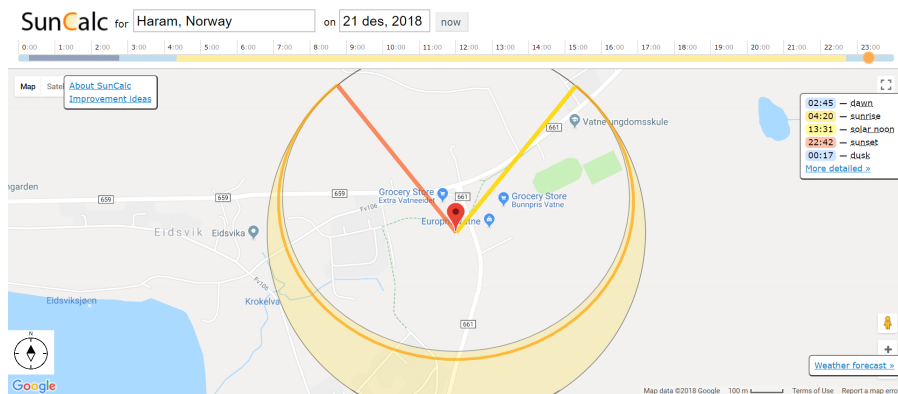
Solenergi kan benyttes til produksjon av både varme og elektrisitet. Solceller omformer solinnstråling til elektrisitet ved bruk av halvleder materialer. De vanligste typene av solceller er tynnfilm, monokrystalinske- og polykrystalinske solceller. Monokrystalinske solceller har typisk en virkningsgrad på 20 % til 24 %. Polykrystalinske solceller er den mest brukte typen solceller, og har en virkningsgrad på mellom 14 % og 18 %. Ytelsen for en solcelle oppgis i kW_P , som viser til ytelsen for solcellen under bestemte klimatiske forhold testet i laboratorium. Ved dimensjonering av solcelleanlegg vil solinnstrålingen for lokasjonen være en av de viktigste parametrene å vurdere. [39]

Solfangere utnytter solvarme for å produsere varme til tappevann og romoppvarming i en bygning. Det er mulig å benytte ulike typer solfanger, der i blant plane solfanger, vakuumbørstolfanger og løsninger som er basert på luft. Solinnstrålingen varierer over året og er lavest om vinteren når behovet for oppvarming er størst, og størst om sommeren ved et lavere behov for oppvarming. Solfangere vil dermed være best egnet for oppvarming av tappevann for norske forhold, ettersom energibehovet til tappevann er forholdsvis likt over året. [85] Ettersom sykehus og sykehjem er bygg med et stabilt og stort varmtvannsbehov vil solfanger vil være spesielt godt egnet for denne typen bygg [91].

En solfanger fungerer ved at en absorberent absorberer strålingsenergien fra sola. Varmen absorbert i solfangeren overføres deretter til et transportmedium, som frakter varmen fra solfangerne til et varmelager. Virkningsgraden for en solfanger er forholdet mellom den utnyttede produksjonen av varme og tilgjengelig solstråling. Ved dimensjonering av anlegg med solfanger tas det ofte hensyn til lasten for systemet om sommeren for å utnytte solfangerne maksimalt om sommeren når soltilskuddet er størst. Anlegget dimensjoneres ofte for å dekke 40 % til 70 % av årlig oppvarmingsbehov for tappevann. Størrelsen på det

optimale arealet til solfangeranlegget avhenger av varmebehovet for bygningen, investeringsforhold og lokalt klima.[91]

Solfangere og solceller bør ha en sørlig orientering, med maksimalt avvik på 45 grader for å oppnå størst energiutbytte. Det vil være mulig å undersøke solens orientering over dagen og ved ulike tider av året ved bruk av nettsider som simulerer solens bane ved valgt lokasjon som vist i Figur 5.2. Figuren viser orienteringen på solinnstrålingen ved Eidet omsorgssenter i Haram kommune for 21. desember [92]. Ut fra figuren vises det at solinnstrålingen er størst mot sør.

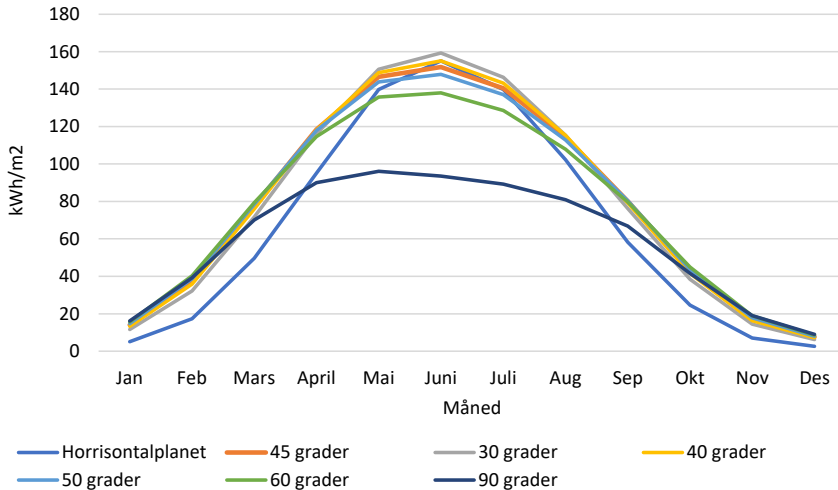


Figur 5.2: Vinkel for solinnstrålingen for Eidet omsorgssenter 21. desember 2018

Den optimale vinkelen for solfanger og solceller vil variere ut fra lokasjonen for anlegget, og må beregnes individuelt for hvert prosjekt. [91] Solinnstrålingen ved Eidet omsorgssenter for ulike vinkler vises i Figur 5.3, og den total solinnstrålingen for de ulike helningsvinkler vises i Tabell 5.3. Den høyeste solinnstålingen for Eidet omsorgssenter oppnås ut fra Figur 5.3 og Tabell 5.3 ved en vinkel for panelene på omtrent 40 grader. Verdiene fra tabellen er beregnet ved hjelp av en nettbasert kalkulator [93]

Tabell 5.3: Årlig solinnstråling på sørvendt flate ved ulike vinkler for Eidet omsorgssenter

Vinkel	Total årsproduksjon [kWh/m2]
0°	796.65
30°	938.46
40°	950.04
45°	948.20
50°	941.16
60°	912.42
90°	711.66



Figur 5.3: Solinnstråling for Eidet omsorgssenter ved sørvendt orientering for ulike vinkler

5.3.5 Energieffektiv ventilasjon

I en studie gjennomført av Bentayeb M. et al. på ventilasjonssystem for sykehjem i utvalgte land i Europa, viser resultatet at bare 19 % av de undersøkte sykehjemmene hadde tilfredsstillende ventilasjon. Resultatene viser videre at det var flere tilfeller av respirasjonsproblemer for sykehjemmene med dårlig ventilasjon sammenlignet med sykehjemmene med tilfredsstillende ventilasjon, i tillegg til en større andel av luftforurensninger innendørs. [60] Studien underbygger litteratur beskrevet i kapittel 4.3.2, om at det vil være viktig å sikre god luftkvalitet for sykehjem.

Eriksen M. har i en studie undersøkt klimatisering av omsorgsboliger, der det ble gjennomført simuleringer for ulike løsninger av ventilasjonssystem og varierende luftmengder for et omsorgssenter i Oslo. I studien tas det utgangspunkt i et mekanisk balansert ventilasjonssystem med omrøringsprinsipp. Bruk av omrøringsprinsipp for omsorgsboliger, sikrer tilstrekkelige luftmengder for tilluft og avtrekk i boligen. [94]

Oppgaven til Eriksen M. undersøker tiltak med bruk av CAV, VAV og DCV systemer. Sammenligning av de simulerte tiltakene viste at alternativet med bruk av DCV resulterte i en lav besparelse av energibruk, i tillegg til en høy livsløpskostnad. Eriksen M. konkluderte med at en lav besparelse i energibruk for systemet med DCV skyldes en konstant brukstid for omsorgsboligene, og dermed et mindre behov for regulering basert på behovstyring. [94]

Studien til Eriksen M. konkludert videre med at løsningen med en kombinasjon av CAV og VAV med økte luftmengder ville resultere i det beste ventilasjonssystemet for omsorgsboligene. Løsningen tar utgangspunkt i tidsstyrt varierende ventilasjon for stue og kjøkken, i tillegg til konstante luftmengder for soverom. Løsningen resulterte i gode inneklimate-

ke forhold og en reduksjon i energibruk til ventilasjon sammenlignet med løsningen med utelukkende CAV. [94]

I simuleringene gjennomført av Eriksen M. ble det også gjennomført evaluering med varierende luftmengder for ventilasjon. Det ble simulert løsninger med minimumskravet til luftmengder i følge TEK10, i tillegg til løsninger med økte luftmengder. Eriksen M. konkludert med at luftmengder i følge teknisk forskrift ikke ville gi tilfredsstillende inneklime for beboerne ut fra utvalgte referanseverdier for inneklime. Det ble i oppgaven dermed konkludert med at det ville være nødvendig med en økning i luftmengder i forhold til teknisk forskrift, og at lavere luftmengder ville føre til et dårlig inneklime for brukerne av omsorgsboligene. [94] Et studie gjennomført av Resole et al. viste imidlertid at luftmengden i ventilasjonssystemet hadde den største innvirkningen på energibruk til ventilasjon. [54]

For å sikre energieffektiv ventilasjon bør det fokuseres på å blant annet redusere energibruken til viftedrift som utgjør en betydelig andel av energibruken til ventilasjon for næringsbygg. Det er mulig å redusere størrelsen på energibruk til viftedrift ved å blant annet gjennomføre godt gjennomtenkte komponentvalg. I tillegg til å gi en energibesparelse vil et godt dimensjonert anlegg, lave hastigheter over komponenter og en lav spesifikk vifteeffekt (SFP) kunne redusere støy fra ventilasjonssystemet betydelig. [95]

For bygninger med døgnkontinuerlig drift anbefales det en maksimal SFP på 1,5 [kW/(m³/s)] [95], verdien tilsvarer også energitiltaket til SFP for småhus og boligblokker i teknisk forskrift [33]. I standarden NS3031 blir den veiledende verdien for SFP for sykehjem satt til 2 [kW/(m³/s)] [22]. SFP verdien sier noe om effektiviteten til ventilasjonsanlegget, og beregnes ved å dele den totale vifteeffekten for anlegget på luftmengden. Det er ønskelig med en lav SFP faktor, som oppnås ved et lavt trykktap i anlegget. [95]

I tillegg til å sikre god viftedrift vil det også være viktig å velge varmegjenvinner med god virkningsgrad, og varme- og kjølebatteri med høy effektivitet for å oppnå et energieffektivt ventilasjonssystem. En lav hastighet over disse komponentene vil gi en bedre virkningsgrad og en høyere effektivitet. [95] Det settes i teknisk forskrift krav til en temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinneren ≥ 80 % gjennomsnittlig over året for boligbygninger [33].

En roterende varmeveksler er kjent for å være driftssikker i tillegg til å ha høy effektivitet, til tross for lave temperaturer, og kan gjenvinne både fukt og varme. Ved en roterende varmegjenvinner vil det imidlertid være en risiko for at lukt og skadelige stoffer overføres til tilluften, som kan føre til eventuell smittefare i bygget. En platevarmeveksler vil ha en lavere virkningsgrad enn den roterende varmegjenvinneren, men vil samtidig ha en lav andel overføring av lukt og stoffer, og er funksjonsikker med få bevegelige deler. Typen av varmegjenvinner må dermed vurderes ut fra krav til inneklime og energibruk for bygningen. [96–98]

For simulering av tiltak i denne oppgaven simuleres tiltak basert på tidsstyrt VAV for å undersøke mulig energibesparelse til ventilasjon for omsorgssenter i tillegg til løsninger med DCV. Det blir videre tatt utgangspunkt i luftmengder som tilfredsstillende minstekravene til ventilasjon i følge teknisk forskrift og økte verdier av luftmengder.

5.3.6 Energieffektiv belysning

Ved planlegging og dimensjonering av belysningsanlegg for et bygg vil det være viktig å ha god kjenskap til forventninger og bruk av bygget og individuelle rom. Det vil være mulig å oppnå energibesparelse ved bruk av blant annet riktig belysningsprinsipp og belysningsnivå for planlagt aktivitet i rommet, styring og effektive lyskilder, uten for høye investeringskostnader. [66]

I en Enova rapport om energieffektiv belysning for yrkesbygg er det laget en oversikt over hva som er viktig å legge vekt på ved planlegging av nye belysningsanlegg. Rapporten lister blant annet opp valg av effektivt belysningsutstyr og bruk av elektronisk startutstyr, i tillegg til lyse farger på veggene, utnyttelse av dagslys, en god plan for vedlikehold, et godt tilpasset styringsystem og å legge til rette for individuell styring av belysningen. [66]

LED er en teknologi i stor utvikling. I dag gir LED-lys et godt lysutbytte per Watt, og legger til rette for å spare opptil 80 % av energibruken til belysning. Lyskilden har i tillegg til en høy ytelse og et lavt energibruk, en betydelig lengre levetid, opp mot 50 000 timer. Andre fordeler med LED-belysning er blant annet at de er robuste og miljøvennlige, ettersom de ikke inneholder kvikksølv, i tillegg til at det er en god økonomisk løsning på grunn av den lange levetiden til lyskilden. [99, 100]

Videre vil det være mulig å spare energi, samtidig som levetiden for lyskilden og kvaliteten på lyskilden øker ved bruk av effektiv sensorstyring. Effektiv styring kan for eksempel være bruk av bevegelsessensorer, der det monteres en detektor i rommet. Detektorer til bruk for regulering av belysning vil samtidig kunne brukes for regulering av varme og ventilasjon. Dersom det er mulig å kombinere et system for styring av belysning, oppvarming og ventilasjon vil det være mulig å redusere kostnadene til drifting av bygget ytterligere. I tillegg til bevegelsesstyring vil det være fordelaktig å benytte dagslystyring, som regulerer belysningsnivået i rommet ut fra tilgangen på dagslys. En kombinasjon av bevegelses- og dagslystyring kalles gjerne konstantlystyring. Dette systemet regulerer belysningsstyrken i hele rommet, og sikrer tilstrekkelig belysning samtidig som det reduserer energibruken til belysning. [66]

5.3.7 Energieffektiv solskjerming

Ved dimensjonering av solskjerming for et bygg er det viktig å tenke over funksjonen til bygget, forventningene til systemet og klima på området [101]. Solskjerming påvirker energibruken til belysning, oppvarming og kjøling, i tillegg til å påvirke den visuelle og termiske komforten for brukerne av bygget [101, 102].

Flere studier viser til viktigheten av å evaluere dagslys, termisk- og visuell komfort i kombinasjon med energibruk til oppvarming, kjøling og belysning, i beslutninger om solskjermingssystem og kontrollstrategi. Den beste løsningen vil kunne være et kompromiss mellom disse aspektene, og det vil dermed være av betydning å vurdere helheten i systemet. Videre bør tilgangen på dagslys og utsikt ses i sammenheng med graden av blanding

og refleksjon, ettersom dette vil kunne være motstridene faktorer i evalueringen av solskjerming. [103, 104]

Det vil blant annet være solenergitransmisjonen (g-verdien), arealet av vinduet og innfallende solstråling som er bestemmende for hvor stor innflytelse solen har på varmetilskuddet i rommet. Ved en høyere g-verdi slippes mer solvarme inn i rommet, som vil kunne være ønskelig om vinteren. En lavere g-verdi gjøre det mulig å redusere varmetilskuddet fra solen, som er ønskelig i bygninger om sommeren. Det vil dermed være fordelaktig å ha muligheten til å regulere verdien av soltransmisjon for å bestemme varmetilskuddet. Solbeskyttelse med mulighet for regulering av soltransmisjonen gjør det mulig å regulere skjermingsgraden ut fra solforhold, og gir mulighet for å finne tilpasning mellom tilgangen på dagslys, utsikt og energibruk. Utvendige persiener vil være en løsning der det er mulig å regulere ønsket effekt av solskjermingen ut fra årstid, forhold og klima på plassen. [101]

Den vanligste kontrollstrategien for solskjerming har vært ut fra innstrålt energi fra solen, som vil si at solskjermingen aktiveres når den forhåndsinnstilte verdi for innstråling i rommet oppnås. En slik innstilling vil redusere kjølebehovet for rommet, men vil samtidig føre til et høyere energibehov for oppvarming og belysning. [101] I en studie gjennomført av Karlsen, Line et al. for å undersøke kontrollstrategier til solskjerming for kontorbygg i kalde klima ble det undersøkt en kombinert løsning med regulering ut fra innstrålt solenergi og innvendig romtemperatur. Løsningen tar i bruk både innvendig og utvendig solskjerming, og kontrollstrategien ble delt inn i to styringsstrategier; i arbeidstiden og utenom arbeidstid. Resultatet fra simuleringene viste at kontrollstrategien reduserte energibruk for bygget, i forhold til løsninger med fast eller ingen solskjerming, i tillegg til å opprettholde termisk- og visuell komfort for bygget. [103]

5.3.8 Energibesparelse ved bevisstgjørelse og styringssystem

Det vil være mulig å oppnå en vesentlig besparelse og effektivisering av energibruk for bygninger ved bruk av et styringssystem, som sikrer optimal drift av bygget. Første steg i innføringen av et effektivt styringssystem er å installere målere i bygget, for å få oversikt over det faktiske forbruket til drift av bygget, for å legge til rette for optimal styring av systemene i bygget. Ved bruk av et godt måle- og styringssystem vil det dermed være mulig å få kunnskap og oversikt over energibruk og drift for bygget, og på denne måten øke muligheten for å redusere energibruken for bygget. For å få full utnyttelse av styringssystemet kreves god oppfølging av driftspersonell. [85]

Kapittel 6

Effektbruk i omsorgssenter

Ettersom elektrisitetsbehovet varierer over tid, kreves det fleksibilitet i nettet for å opprettholde balansen mellom behov og tilført elektrisitet til enhver tid. For å opprettholde fleksibilitet i nettet har det tradisjonelt blitt produsert energi ved ulike kraftverk, som sammen sikrer tilstrekkelig fleksibilitet. Med en økning i variabel fornybar energiproduksjon til strømmettet, stilles det krav til nye løsninger for å opprettholde fleksibiliteten. For å få en mest mulig optimal løsning for fleksibilitet i nettet, i tillegg til å oppnå balanse mellom produksjon og etterspørsel og samtidig forbedre implementering av fornybar energiproduksjon, vil det være nødvendig å vurdere energisystemet som en helhet. [8]

Energiprisen for store bygg varierer over døgnet som beskrevet i Kapittel 3.4.4 og vil være avhengig av effekttoppene, som fører til at det er billigere strøm utenfor effekttopper og dyrere strøm når effekttoppene forekommer i perioder med et stort behov for elektrisitet. Energikostnaden for offentlige bygninger beregnes ut fra energibruk og maksimal effekt, der den maksimale effekten er den høyeste effekten i en beregningsperiode. Effekttoppene for offentlige bygg varer ofte over korte perioder, men vil likevel kunne bidra til 50 % av den totale energikostnaden over en periode. Bruk av tiltak for å redusere eller forskyve effektbruk vil dermed gi grunnlaget for en betydelig besparelse i kostnadene til effekt, og drift av bygningen. En variasjon i strømprisen kan på denne måten fungere som en insentiv som motiverer forbrukere til å endre forbruksmønsteret. [9]

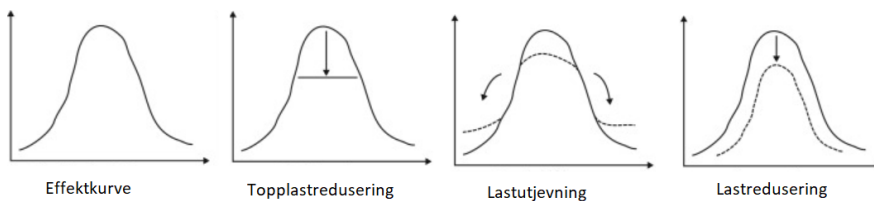
6.1 Fleksibilitet i strømmettet

Det er mulig å oppnå fleksibilitet i strømmettet ved å iverksette tiltak på både leverandør- og forbrukersiden. Tiltak på leverandørsiden kan være produksjon av elektrisitet fra ulike kraftverk, lagring av vannkraft eller utbygging av strømmettet. Eksempler på tiltak som kan implementeres på forbrukersiden er blant annet bruk av energilagring som bidrar til

å forskyve behovet for levert energi, eller optimalisere styringen av det tekniske anlegget og prosesser. Interessen for lagring av energi har særlig økt på grunn av utviklingen av teknologi på området, høye oljepriser og implementering av en større andel fornybar energiproduksjon. [8]

6.2 Reduksjon og forskyvning av effektbruk

Løsninger for effektivisering av effektbruken går ut på å redusere og forskyve forbruket ved hjelp av ulike tiltak, for å redusere effektkostnader og sikre fleksibilitet for energisystemet. Mulige metoder på forbrukersiden kan blant annet være topplastreduksjon, lastutjevning og lastreduksjon. Ved å implementere tiltak på forbrukersiden vil det være mulig å oppnå likevekt for både energi og effektbruken i et bygg. [8] Funksjonen for de ulike metodene er vist i Figur 6.1. Kurven til venstre viser en alminnelig effektkurve, mens resterende grafer viser hvordan effektbruken for en bygning endrer seg ved implementering av nevnte metoder.



Figur 6.1: Metoder for reduksjon og forskyvning av effektbruk (gjengitt med tillatelse fra [8])

Topplastreduksjon og lastreduksjon har som formål å redusere energibehovet for bygninger. Topplastreduksjon kan utnyttes ved å endre brukerens vaner for oppvarmingsbehov av bygningen, slik at tidsplanen for oppvarming endres. Løsningen går ut på å fylle på systemlagrene når forbruket er lavt, for eksempel i løpet av natten, for så å bruke av lagrene når forbruket øker. Lastreduksjon tar utgangspunkt i prioritering av lastfall og tidsstyring av last. [105]

Ved lastutjevning lagres energi når forbruket er lavt og brukes når etterspørselen og forbruket er høyt. Det er ønskelig å holde effektbruken så jevnt som mulig over døgnet. Eksempler på tiltak for lastutjevning vil kunne være lagring av varme i en bygning med elektrisk oppvarmingssystem, eller lager for skittentøy som siden kan vaskes når effektbruken er lav. En begrensning vil imidlertid være at mange apparater krever bestemte mengder effekt på gitte tidspunkt for å fungere. Lastutjevning vil være en effektiv metode for å øke fleksibiliteten på forbrukersiden ettersom den legger til rette for fleksibilitet uten at det går på bekostning av aktivitetene for bygget. [8, 106]

Potensialet til å endre effektbruken avhenger av blant annet tilgjengelig fleksibilitet, brukerfaktorer og beslutningstaking, i tillegg til mulighetene for lagring av varme og energi,

og hvilket system som benyttes i bygget. Potensiell besparelse med implementering av tiltak for å øke fleksibilitet vil i tillegg være større for husholdninger enn for næringsbygg. Videre vil informasjonsteknologi være en viktig drivkraft for reduksjon og forskyvning av effekt, for å sikre optimal styring og utnyttelse av tiltakene. Ved bruk av tiltak for å redusere effektbruk på forbrukersiden vil det være mulig å oppnå flere fordeler, som for eksempel reduserte kostnader til drift av bygget ved en lavere energipris, større markedsmakt til forbrukeren og reduksjonen av tap i overføringssystemet. [8]

6.3 Tiltak for å redusere effektbruk for omsorgssenter

Energilagring kan være en god løsning i kombinasjon med fornybar energiproduksjon, ettersom produksjonen av fornybar energi i mange tilfeller foregår når etterspørselen er lav. Med bruk av energilagring vil det være mulig å benytte energien som er lagret når etterspørselen er stor, og på denne måten øke verdien av den egenproduserte energien. [106]

Cao, S. et al har sett på mulighetene for å redusere ubalansen mellom produksjon av fornybar energi og energibruken for en enebolig. I studien ble det i tillegg undersøkt ulike alternativer for lagring av energien. Resultatene fra studien viser at det vil være mer teknisk- og økonomisk lønnsomt å lagre elektrisk energi produsert fra solceller i en akkumulator-tank for varmtvann enn å bruke batterier for lagring av overproduisert elektrisitet. Videre viser studien at det er mulig å redusere ubalansen mellom energiproduksjon og energibruk med 13-23 % ved å benytte termisk lagring i kombinasjon med fornybar energiproduksjon. [107]

Lund, P. et al har undersøkt potensialet for reduksjon og forskyvning av effekt for tyske boliger, og kommet frem til alternative løsninger med ulik grad av lagringskapasitet og kostnad. Effektiviteten til tiltakene avhenger av hvilken type lagring som tas i bruk og hvordan det er koblet opp mot det tekniske anlegget i bygget. Undersøkelse av tiltak med oppvarming av varmelager om natten resulterte i en kostnadseffektiv løsning med stor lagringskapasitet. Bruk av fornybare energiløsninger som CHP og varmepumpe for lagring av varme resulterte også i en kosteffektiv løsning, men med en liten reduksjon i lagringspotensial. For næringsbygg undersøkte Lund, P et al tiltak for lagring av varme i elektriske varmtvannstanker og varmelagring om natten som mulige løsninger. Tiltakene viste seg å ikke ha så stor effekt som for husholdninger, i tillegg til en større variasjon i investeringskostnad for tiltakene. Potensiale av nevnte tiltak vil imidlertid være avhengig av muligheten for styring av ulike laster og vil i tillegg være avhengig av atferd og beslutningstaking hos forbrukeren. [8]

I studien gjennomført av Lund, P. et al konkluderes det med et potensiale for kostreduksjon på rundt 20 % ved bruk av tiltak for økt fleksibilitet på forbrukersiden i kombinasjon med variabel produksjon fra fornybar energi og for enkelte tilfeller bruk av energilagring. Videre vises det til en økning i utnyttelsen av fornybar energi på 10-20 % ved implementering av tiltak på forbrukersiden. [8]

Fisher, D. et al har undersøkt en løsning med bruk av varmepumper tilkoblet termisk lagring for å legge til rette for fleksibilitet for drift, og dermed mulighet for lastutjevning.

Undersøkelsen viser at en løsning med bruk av varmepumpe tilkoblet termisk lagring vil kunne gi muligheter for større utnyttelse av egenprodusert energi fra solceller. Et slikt system vil kunne legge til rette for optimal drift av bygningen ved varierende strømpriser. Studien konkluderer videre med at det vil være hensiktsmessig å utnytte mest mulig av egenprodusert energi, ettersom prisen for egenprodusert energi er lavere enn elektrisitetsprisen. [108]

En studie gjennomført for boliger i Finland har undersøkt alternative virkemidler for å redusere effektbruk i bygninger, og nevner at insentivbaserte løsninger, som å ha dynamisk prising på elektrisitet, vil være et godt alternativ. Undersøkelsen på boligene i Finland, viste en besparelse på 13-16 % i løpet av perioden med høyest strømpriser. [8]

Lastreduksjon for å redusere effekttopper for bygninger kan også gjennomføres ved bruk av bruk av tidsplaner, styring og kontrollsystem. Lastreduksjonen gjennomføres da ved prioritering av laster, eller at laster skrus av eller reguleres ut fra hvilke laster som ikke er viktige i spesifikke tidsrom. Ulike laster som kan skrus av eller reguleres vil kunne være belysning eller andre tekniske installasjoner i soner eller deler av bygningen. [9]

6.3.1 Fornybar energiproduksjon og lagring av varme og energi

Termisk energilagring er en teknologi som blir benyttet mer og mer for bygg. Et energilager vil kunne bidra til å dekke topplastene for oppvarming og kjøling for bygget, og dermed bidra til å hold effekttoppene for bygget nede. Bruk av energilager benyttes ofte som erstatning for spislaster som olje og gass, og vil dermed i tillegg gi et bidrag til redusert bruk av fossile brensler til oppvarming og kjøling av bygninger. Ved bruk av energilagring i kombinasjon med for eksempel en varmepumpe, vil det være mulig å øke utnyttelsesgraden for varmepumpen, og samtidig redusere utgiftene til energi for bygget. [85]

Et energilager fungerer ved at det flytter behovet for effekt til andre tidspunkt, hvor effektbruken er lavere. Et system med energilagring tillater dermed variasjoner mellom behovet for energi og levert energi for systemet. Klassifiseringen av energilager bestemmes ut fra type lagring og kapasiteten til energilageret. Alternative metoder for energilagring har ulike egenskaper, der store energilagere legger til rette for å utjevne forskjeller mellom forsyning og bruk over en lengre periode. Energilagere med høy effektkapasitet gir derimot mulighet for å utjevne større utstrekning av forskjellen mellom forsyning og behov for energi. [8]

Energilagring legger til rette for full utnyttelse av varmesystemets effektivitet i perioder med lavt energibehov, og minimal bruk av kostbar spisslast i perioder med et høyt energibehov for bygningen. Ettersom energilagrene har forskjellige egenskaper vil det være nødvendig å velge energilager ut fra behovet til det enkelte prosjektet. Ulike metoder for lagring av energi kan for eksempel være bruk av hydrogen eller batteriteknologi. I tillegg vil en løsning med lagring av elektrisitet i termiske varmelagre, skape et fleksibelt energisystem og utnytte effektiviteten til fornybare energikilder. En annen løsning er å bruke elbiler som aktive energilagere. [8]

6.3.2 Lastutjevning med BTS og PCM

Lastutjevning for næringsbygg kan også gjennomføres ved bruk av termisk lagring i konstruksjonsmaterialer (BTS) eller ved å utnytte faseendring for materialer (PCM). Løsningsene med BTS og PCM vil på denne måten fungere som termisk lagring for bygningen, der det er mulig å varme opp eller kjøle ned materiale når energibehovet og energiprisen er lav. [9]

I en studie gjennomført av Sun, Y. et al. evalueres muligheten for kjøling av næringsbygg ved bruk av BTS og PCM, i tillegg til en løsning med kombinasjon av BTS og termisk varmelagring. Studien viser at det er et stort potensiale for å redusere behovet for oppvarming eller kjøle ved lagring av varme eller kulde i bygningskonstruksjonen eller interiør. BTS kan benyttes ved for eksempel å forvarme eller kjøle bygningen om natten eller utenfor driftstid. [9]

Bruk av PCM har blitt evaluert i flere studier til bruk i kombinasjon med klimaanlegg for bygninger. PCM kan benyttes både direkte og indirekte. Ved et indirekte alternativ består gjerne konstruksjonen av et materiallag med gode egenskaper for faseendring implementert i andre bygningsmaterialer. Resultat fra undersøkelser på effekten av PCM viser at det er mulig å redusere effektbehovet og kostnadene for bygninger, i tillegg til å oppnå god termisk komfort. Det er imidlertid viktig at lagringen av varme og kjøling i konstruksjonen ved bruk av BTS og PCM ikke går på bekostning av en økning i den totale energibruken til oppvarming eller kjøling. [9]

Presentasjon av Eidet omsorgssenter



Figur 7.1: Eidet omsorgssenter

Eidet omsorgssenter ligger på Eidet i Haram kommune. Bilde av sykehjemmet er vist i Figur 7.1. Bygget ble overlevert 6. februar 2017, og ble innflyttet 25. april 2017. Omsorgssenteret er et Enova forbildeprosjekt og har fått støtte fra Enova til byggingen. Målet for prosjektet var å oppfylle kravene for passivhusstandarden NS3701, både for byggingen og energibruk. Videre var målet at den leverte energien til bygget skulle være under 20 kWh/m²år, eksklusiv energi til det tekniske utstyret. Omsorgssenteret er et av landets mest energieffektive omsorgssenter, der 90 % av energiandelen til oppvarming dekkes av

fornybar energi. Energikildene som er benyttet for å oppnå dette målet er solceller, solfangere og bergvarmepumpe. I tillegg benyttes en elektrokjel for å dekke spisslast og reserve. Bygget består av 70 omsorgsboliger, der 65 av boligene er bofellesskap med tilknyttede fellesareal og de resterende 5 er leiligheter. [12] Tabell 7.1 viser en oversikt over fakta for Eidet omsorgssenter hentet fra beskrivelse av beregninger i SIMIEN og informasjon oppgitt i Famacweb [12].

Tabell 7.1: Fakta om Eidet omsorgssenter

Beskrivelse	Verdi
Byggeår/ferdigstillelse	2016/2017
Totalt BRA	7038 m ²
Antall boenheter	70
Energiandel av fornybar energiproduksjon	90 %
Byggestandard	Passivhusstandard
Energimerke	Grønn A

7.1 Tekniske spesifikasjoner

Det tekniske anlegget for Eidet omsorgssenter inkluderer blant annet ventilasjon, romoppvarming, komfortkjøling, kjølemaskin, snøsmeltingsanlegg og anlegg for varmtvann. Beskrivelse av hvordan ulike systemer fungerer, hvordan systemet er dimensjonert og hvilke prioriteringer som foreligger er beskrevet i detalj i kapittelet.

7.1.1 Belysning og solskjerming

Belysningen for Eidet består av energieffektiv LED belysning, med varm lysfarge og lang levetid. Regulering for anlegget baseres på bevegelsessensorer og lysnivå. Den gjennomsnittlige installerte effekten for belysning er ut fra målinger beregnet til å være 1,65 W/m² for sykehjemmet, fullstendig beregning vises i Vedlegg C. Belysningen er tilkoblet målesystemet EMSweb, der forbruket til belysning over året registreres. Det er montert automatisk utvendig screen på fasaden for solavskjerming, som reguleres ved hjelp av lysstyring i tillegg til å kunne tvangskjøres manuelt fra rom til rom. [12]

7.1.2 Energisentral

Energisentralen for omsorgssenter skal levere varme til varmtvannsanlegget, snøsmelteanlegget og nødvendig varme til tre ventilasjonsaggregat. Det skal i tillegg leveres kjøling til ventilasjonsaggregatene og kjøling av luftbehandlingsanlegg, i tillegg til et isvannsanlegg som dekker behov for kjøling av spesialrom til bårerom, matlagring og skittentøy. [12]

7.1.3 Varmtvannsanlegg

Kondensatorvarme fra kjølesystemet utnyttes maksimalt til forvarming av varmtvann, så lenge temperaturen i akkumulatortanken fra kjølemaskinen er større enn temperaturen i akkumulatortanken fra solfangerne. Dersom temperaturen i akkumulatortanken for solfangerne blir høyere, vil kondensatorvarmen fra kjølesystemet bli brukt til varmegjenvinning i borehull ved hjelp av varmepumpen. Det vil da være akkumulatortanken fra solfangerne som forvarmer varmtvannet. Denne styringen er valgt for å hindre overoppheting og skader på solfangerne. Pumpene i solfangersystemet starter når det blir registrert høyere temperatur enn 7 °C i solfangerne, og stopper når det registreres lik temperatur som i akkumulatortankene tilkoblet solfangerne. [12]

Solfangersystemet består av tre akkumulatortanker i serie, som kan reguleres til en maksimal temperatur på 80 °C, denne temperaturen kan justeres. Når ønsket temperatur er oppnådd i akkumulatortankene blir det satt i gang dumping av overskuddsvarmen fra solfangerne, ved at sirkulasjonspumpene i tilknytning til solfangersystemet tvangskjøres om natten. Dumpingen av overskuddsvarme kjøler ned solfangerne til en godkjent temperatur gitt av leverandør. I tilkoblingen mellom solfangerne og akkumulatortankene er det tilkoblet en platevarmeveksler, for å slippe og fylle frostvæske i akkumulatortankene.[12]

Ved tapping av varmtvann settes sirkulasjonen i gang i solfangersystemet og varmeveksleren mellom solfanger og akkumulatortank til oppvarming av varmtvann overfører varme til kaldt tappevann. Varmtvannet blir her varmet opp til maksimalt 70 °C. [12]

I tillegg til solvarme, er en av bergvarmepumpene på 30 kW koblet inn i varmtvannskretsen, merket som varmepumpe nummer 2 i Figur E.5 i Vedlegg E. Akkumulatortankene for varmtvann varmes opp med varme fra bergvarmepumpen ved behov, når solfangerne ikke klarer å levere nok varme. Ettervarming av varmtvannet i akkumulatortankene foregår så med bruk av et elektrisk varmeelement i akkumulatortankene til 70 °C, ved behov. [12] Oversikt over anlegget for varmtvann finnes i Figur E.6 i Vedlegg E. Oversikt over solfangersystemet og systemet for kjølemaskinen finnes i Vedlegg E i henholdsvis Figur E.4 og Figur E.2.

7.1.4 Oppvarmingssystem

Sykehjemmet har et lavt oppvarmingsbehov. I følge SIMIEN-beregninger utført av konsultene for Eidet omsorgssenter 6. januar 2017, har bygget et spesifikt romoppvarmingsbehov på 5 kWh/år. Ut fra det lave oppvarmingsbehovet ble det bestemt, med bakgrunn i kostnadsanalyse, at det ikke skulle tas i bruk vannbåren gulvvarme. Det ble i stedet bestemt at det kun skulle installeres elektrisk gulvvarme på badene og gang ved hovedinngangen, i tillegg til elektriske radiatorer for hvert enkelt rom. [12]

I tillegg til elektrisk gulvvarme i bad og ved hovedinngangen, dekkes oppvarmingsbehovet av en bergvarmepumpe på 40 kW i tilkobling med en elektrisk kjel ved behov, for oppvarming av ventilasjonsluften. Varmepumpen for oppvarming av romluften vises som varmepumpe nummer 1 i Figur E.5 i Vedlegg E. Varmepumpen reguleres internt basert på

en utetemperaturkompensert returtemperatur på sekundærsiden. Alt vannet i systemet sirkuleres gjennom elektrokjelen, som kobles inn dersom den registrerer at returtemperatur i systemet er for lav. Turtemperaturen i systemet vil dermed variere ut fra utetemperaturen. Varmen fra varmpumpen blir lagret i en 450 liter akkumulatortank før den blir distribuert videre til de tre ventilasjonsaggregatene og snøsmelteanlegget tilkoblet samme system. Hovedpumpen i varmesystemet er styrt ut fra differansetrykk og regulerer vannmengden i systemet etter behovet i anlegget. Dersom ventilene til ventilasjonsaggregatene og snøsmelteanlegget stenges, skal varmpumpen, elektrokjel og pumpene i systemet stanse. Varmeanlegget reguleres i henhold til behov og tilstedeværelse. [12]

Varmeregulering for ulike rom i sykehjemmet styres med akselerasjon, som vil si at regulatoren registrerer og tilegner kunnskap om hvor lang tid rommet bruker på å øke temperaturen med 1 °C ved ulike utetemperaturer, og bruker innstillingene til å regulere temperaturen i rommet. Korridorene styres ut fra en enkel varmeregulering, der det registreres erverdi, settpunktverdi og pådrag i SD-anlegget. Beboerrom er dimensjonert med mulighet for lokal justering på +/- 2 °C, i tillegg har rommene vinduskontakt som reduserer settpunkt i rommet til 19 °C når vinduene åpnes. Fellesstue og kjøkken reguleres ut fra CO₂-konsentrasjon, i tillegg til en lokal justering på +/- 2 °C. [12]

Det er installert en effektregulering, som skal begrense høye effekttopper for systemet. De fleste rommene i sykehjemmet er koblet til denne funksjonen, men beboerrommene er holdt utenfor reguleringen. [12]

7.1.5 Kjølesystem for komfortkjøling

Kjøling av bygget foregår kun ved bruk av komfortkjøling fra ventilasjonssystemet. Kjølesiden av varmpumpen aktiveres når minst et av aggregatene har et kjølebehov. Dersom det oppstår et kjølebehov åpnes B-løpet gjennom en varmeveksler som er koblet utenom varmpumpene. Den normale vannmengden til systemet skal beholdes, så fremt kjølebehovet til ventilasjonsanlegget blir opprettholdt. Ved behov for ytterligere kjøling i systemet skal brønnpumpen øke turtallet, og ventilen på primærsiden av varmpumpen skal reguleres. Restvarmen som hentes fra kombibatteriene til ventilasjonsaggregatene og restvarme fra kjølemaskinen sirkulerer deretter gjennom kollektorslanger i borebrønnene. Brønnpumpen er innstilt på å stanse dersom ingen av varmpumpene er i drift og det ikke er kjølebehov i ventilasjonsaggregatene. [12] Oversikt over kjølekretsen for varmpumpene finnes i Figur E.5 i Vedlegg E.

7.1.6 Kjølemaskin

Isvannsmaskinen reguleres ut fra ønsket settpunkt og er innstilt med kalender satt i det sentrale driftsanlegget (SD-anlegget). Kjølemaskinen brukes for å kjøle ned lager for skitentøy og bårerom. Oppbyggingen av anlegget finnes i Figur E.2 i Vedlegg E. Kondensatorvarmen fra anlegget brukes til forvarming av tappevann, og restvarmen leveres til varmpumpesystemet. [12]

7.1.7 Ventilasjonsanlegg

Ventilasjonsanlegget er fordelt på tre aggregater som er plassert i teknisk rom i kjeller. Aggregat 2 er det største aggregatet og leverer 58 % av luftmengdene til sykehjemmet, mens aggregat 1 og 3 leverer henholdsvis 20 % og 22 %. Aggregatene som er brukt for Eidet er av typen kompaktaggregat med intern automatikk, men det er mulig å overstyre settpunkt og av/på regulering i SD-anlegget. Eidet omsorgssenter har balansert ventilasjon. Leilighetene og beboerrom har regulering med CAV, kontor reguleres ut fra VAV med tilstedeværelsessensor, mens oppholdsrom og resten av rommene styres med VAV regulering ut fra CO₂. Pådrag for spjeld, settpunkt og erverdi for CO₂ og drift registreres og vises i SD-anlegget. Rommene i sykehjemmet er installert med ulikt settpunkt for tilluft og avtrekk. Det er prosjektert punktavsug for søppelrom, søppelsjakt, skittentøy, postkjøkken og produksjonsrom. [12]

7.2 Fornybar energiproduksjon

Eidet har dimensjonert for å dekke 90 % av nødvendig energibehov med fornybar energi fra sol og grunnvarme. Den fornybare energiproduksjonen bidrar til både varme- og elektrisitetsproduksjon for sykehjemmet.

7.2.1 Solenergi

Verdier som er benyttet i dimensjoneringen av anlegget for Eidet omsorgssenter er listet i Tabell 7.2. Tabellen viser at det er tatt utgangspunkt i en solinnstråling på 850 kWh/m² i dimensjoneringen av potensial for produksjon av varme og elektrisitet fra solenergi. Det er tatt utgangspunkt i et anlegg for produksjon av solenergi på rundt 2 300 m² med en vinkel på mellom 11 ° og 13 °. Den oppgitte elektrisitetsproduksjon fra solcelleneanlegget er 145 000 kWh/år for sykehjemmet, mens målte verdier fra EMSweb viser en elektrisitetsproduksjon på 102 720 kWh/år for anlegget. Anlegget er dimensjonert med en maksimal effekt på 180,54 kW_P. Solcellene er tilkoblet det tekniske anlegget via hovedfordelingen i teknisk rom, og kobles ut dersom nettspenningen faller ut og nødstrømsaggregatet for sykehjemmet starter. Timesverdier for produksjonen av elektrisitet fra solcelleneanlegget registreres i EMSweb. Målere for å vise hvor mye av elektrisiteten fra solcellene som brukes til eget forbruk og hvor mye som sendes ut på strømmettet er foreløpig ikke lagt inn i målesystemet for Eidet omsorgssenter. [12]

For produksjon av varme fra solenergi, er det som vist i Tabell 7.2 installert et solfangerareal på omkring 250 m². Anlegget er dimensjonert for en total produksjon av varme på 54 000 kWh/år. Produksjonen av varme fra solfangerne bidrar til å dekke en betydelig andel av oppvarmingsbehovet til varmtvann for sykehjemmet. Figur 7.2 viser solcelle og solfangerarealet på Eidet omsorgssenter. Stående paneler viser solfangerne i systemet, mens solcellene er montert liggende på taket. [12]

Tabell 7.2: Oversikt over verdier benyttet for solenergi

Beskrivelse	Verdi
Antatt solinnstråling for dimensjonering	850 kWh/m ²
Antall solcellepanel	616 stk
Areal av solcelleanlegg	ca. 2300 m ²
Maksimalt dimensjonert effekt	180,54 kW _P
Antatt produksjon fra solceller	145 000 kWh/år
Antall solfangermoduler	77 stk
Areal av solfangeranlegg	ca. 250 m ²
Antatt varmeproduksjon fra solfangere	54 000 kWh/år



Figur 7.2: Energiproduksjon fra solceller og solfangere på Eidet omsorgssenter

7.2.2 Bergvarmepumpe

I tillegg til solenergi er det installert 8 energibrønner hver på 200 meter tilknyttet to bergvarmepumper. Varmepumpen med en installert effekt på 30 kW er koblet opp mot oppvarming av varmtvann, og bidrar til å dekke oppvarmingsbehovet for varmtvann dersom varmen for solfangerne ikke er tilstrekkelig. Varmepumpen for oppvarming av varmtvann går med fasttemperatur på 50 °C for forvarming av varmtvann, og har fra leverandør en oppgitt COP mellom 3,8 og 4,9. Varmepumpen på 40 kW er koblet til ventilasjonsaggregatene og dekker oppvarming av ventilasjonsluft og varmebehovet til snøsmelleanlegget. Energibrønner bidrar på denne måten til oppvarming og kjøling av ventilasjonsluft, og oppvarming av tappevann i kombinasjon med solfangerne. Varmepumpen for oppvarming av ventilasjonsluft går utetemperaturkompensert, som vil si at den har en flytende kondensering og varierende COP ut fra temperaturen inn fra energibrønner og ut på varmebæren. Varmepumpen har en oppgitt COP fra leverandør på mellom 4,5 og 5,7. [12]

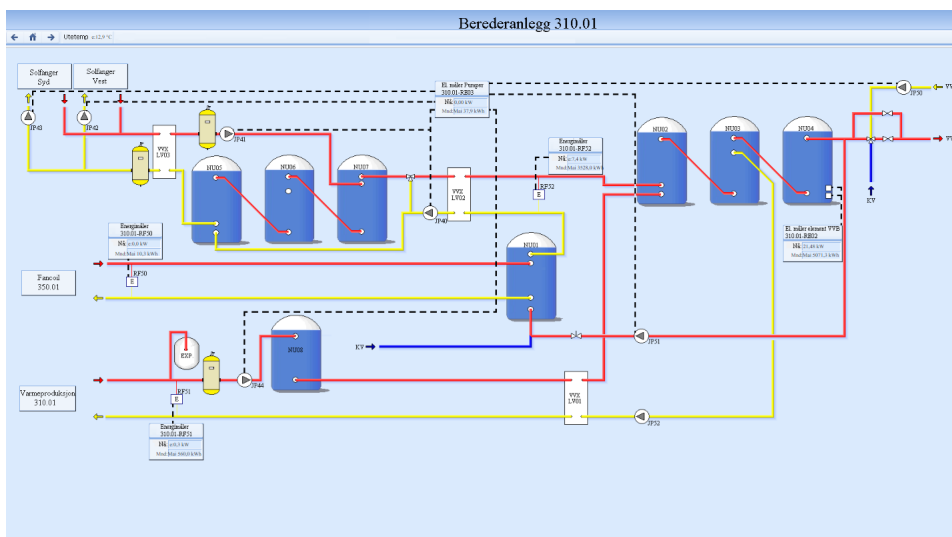
7.3 Utstyr for måling og registrering av forbruk



Figur 7.3: Energimålere på Eidet omsorgssenter

Det er installert energimålere for varmtvann, ventilasjonsvarme, ventilasjonskjøling, pumper, belysning og utstyr. Målingene blir registrert i EMSweb, som er utviklet av EM-systemer. Figur 7.3 viser en oversikt over noen av energimålerne som registreres i EMSweb. EMSweb er et nettbasert system som styrer, rapporterer og overvåker systemene for omsorgssenteret. På EMSweb vises forbruket for de ulike energimålerne, og målinger logges automatisk over en uke. Det vil i tillegg være mulig å sette i gang manuell logging for systemer og verdier. Målinger av temperatur og CO₂-konsentrasjon for ulike rom vises med tilhørende verdier for settpunkt og pådrag. [12]

Systemet gir også mulighet for å se en oversikt over anlegg for blant annet varmeproduksjon og beredere, med energi- og temperaturmålere tilknyttet anlegget. Videre viser systemet alarmer ved avvik, når målte verdier er utenfor settpunktverdiene for de aktuelle systemene. Det har blitt forklart at det imidlertid er en del feil som er registrert for målesystemet, som gjør verdiene noe usikre. [12] Figur 7.4 viser oppbyggingen av berederanlegget for Eidet omsorgssenter i EMSweb. Lignende oversiktsbilder finnes også for andre systemer og anlegg for sykehjemmet i EMSweb.



Figur 7.4: Oversikt over berederlegg i EMSweb

Kapittel 8

Oppbygging av modell i IDA ICE

Kapitlet beskriver valg av simuleringsverktøy og valideringen av dette. Videre utdypes oppbyggingen av Eidet omsorgssenter og en basemodell for simulering av tiltak i det valgte simuleringsprogrammet, med parametre og faktorer brukt i modellene. Til slutt presenteres tre metoder for å gjennomføre klimakorrigerings av energibruk for et bygg.

8.1 Valg av simuleringsverktøy

Energisimuleringsverktøy brukes til å anslå en bygnings energiytelse og evaluere den termiske komforten for personer som oppholder seg i bygningen. En simuleringsmodell gjør det mulig å gjennomføre beregninger av ulike situasjoner, forutsi utfall, samt å finne en optimal løsning på utfordringer før byggingen settes igang. [109, 110] Det blir i simuleringsprogrammet laget en forenklet modell basert på virkeligheten for å kunne gjennomføre simuleringer, som fører til at avvik mellom virkelige og beregnede verdier kan forekomme. [109, 111]

Simuleringsprogram, som EnergyPlus brukes for å gjennomføre en detaljert simulering av energibruk og laster. EnergyPlus legger til rette for å analysere og bygge opp systemer i detalj, men programvaren krever inputverdier, koder og koblinger for å etablere en ferdig modell, og vil dermed kunne være tidkrevende. [112] SIMIEN er et simuleringsprogram som er mye brukt i Norge. Programmet brukes for å simulere energibruk og gir mulighet for å evaluere resultater opp mot ulike standarder. SIMIEN har imidlertid en veldig enkel oppbygging og gjennomfører en del forenklinger. Solskjerming er et eksempel på en parameter som er veldig forenklet i SIMIEN. Programmet gir ikke mulighet til å analysere komponenter og system på et mer avansert nivå. [113]

Programmet IDA ICE er utviklet av EQUA Simulations AB. IDA ICE er et program som er utviklet for å studere inneklimate i ulike soner i et bygg, i tillegg til energibruk

for bygget som en helhet. Programmet har ulike tilnæringer til simulering, der et alternativ er å bruke et assisterende nivå der det er mulig å ta utgangspunkt i standard og automatiske verdier fra en database. Et annet alternativ vil være å benytte et mer avansert nivå, der brukeren bygger opp modellen og systemet med fysiske verdier. I tillegg vil det ved en avansert tilnærming være mulig å studere ligninger, parametre og variabler i detalj, og lage en detaljert oppbygging av systemet. [114] Programmet er et "Equation based"modelleringsprogram, som skaper en mer virkelighetsnær og naturlig oppbygging av systemet. [115] Ut fra funksjonalitet og brukervennlighet er det valgt å benytte IDA ICE som simuleringsverktøy i oppgaven.

8.1.1 Validering av IDA ICE

I følge NS3031 skal dynamiske beregningsprogram som benyttes for beregninger, valideres etter regler gitt i NS-EN 15265. Minstekravet for nøyaktighet, i valideringen, er klasse C. EQUA Simulation validerte i 2010 versjonen IDA ICE 4.0 opp mot blant annet NS-EN 15265. Resultatet av valideringen viste at IDA ICE 4.0 oppnådde klasse C eller bedre for alle de 12 testene, der halvparten av testene oppnådde nivå A. Det antas dermed at den videreutviklede versjonen, 4.7.1 som brukes i denne oppgaven, er innenfor grensene og kan brukes for simuleringene i oppgaven. [116]

8.2 Modellering av Eidet omsorgssenter

Kapitlet beskriver forutsetninger for valg av parametre og løsninger i oppbyggingen av modellen i simuleringsprogrammet IDA ICE. Modellen for Eidet omsorgssenter tar utgangspunkt i verdier fra SIMIEN-fil opprettet av konsultentselskapet med endelige verdier for bygget, i tillegg til standardverdier fra NS3031 og NS3701 og enkelte målte verdier fra EMSweb. Resultatet fra modellen benyttes til sammenligning av verdier for energi og effektbruk med verdier fra EMSweb, strømlleverandør og SIMIEN-fil fra konsultentselskapet.

8.2.1 Klima og orientering

Tabell 8.1: Inndata klima

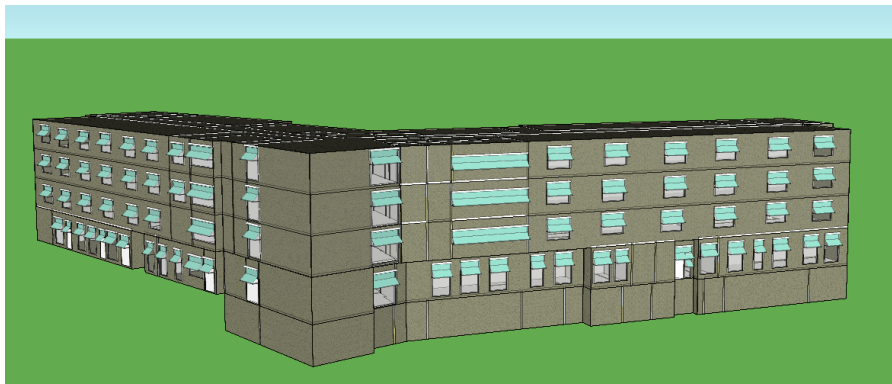
Beskrivelse	Verdi
Klimasted	Ålesund, Vigra
Bredde-/Lengdegrad	62° 31'6" 5'
Retning (0=nord, 180=sør)	6°

Modellering av Eidet omsorgssenter tar utgangspunkt i klimafil for Ålesund lufthavn, Vigra, som er den nærmeste plasseringen til omsorgssenteret tilgjengelig i databasen for IDA

ICE. For å kompensere for den valgte klimafilen med tilhørende klima og værdata, må faktor for klimakorrigering beregnes og implementeres i resultatet over energibruk. Videre er det valgt orientering og høydemeter ut fra plasseringen til Eidet omsorgssenter, og det ble antatt en forhåndsbestemt vindprofil for sykehjemmet tilsvarende et forstadsområdet. Det er antatt at andre bygninger og vegetasjon ikke skal føre til skyggeproblematikk for omsorgssenteret, ut fra oversiktsbilder av sykehjemmet på Google maps. Tabell 8.1 viser en oversikt over inndata for klima og orientering for simuleringsmodellen.

8.2.2 Geometri

Geometrien og oppbyggingen av bygget i IDA ICE ble bestemt ut fra plantegninger for sykehjemmet. Plantegning for 1. etasje finnes i Vedlegg F. For å finne mål og plassering for bygningskroppen ble det gjort målinger på dwg-fil av tegningene for bygget i det nett-basert programmet Autodesk Viewer [117]. Figur 8.1 viser den utvendige geometrien for sykehjemmet sett fra nord.



Figur 8.1: Oppbygd modell for Eidet omsorgssenter

8.2.3 Oppbyggingen av konstruksjon

For oppbygging av konstruksjonen ble det tatt utgangspunkt i detaljtegninger over konstruksjonen fra Famacweb. Det ble antatt forenklinger der det ikke var tilstrekkelig informasjon, i tillegg til å bruke verdier fra SIMIEN simuleringen fra konsultentselskapet og verdier fra standarder. Innvendige vegger og gulv, ble lagt inn som standardverdier fra databasen i IDA ICE. [12] Tabell 8.2 viser en oversikt over viktige parametre som er satt inn i modellen.

Tabell 8.2: Verdier for konstruksjonen til modellering

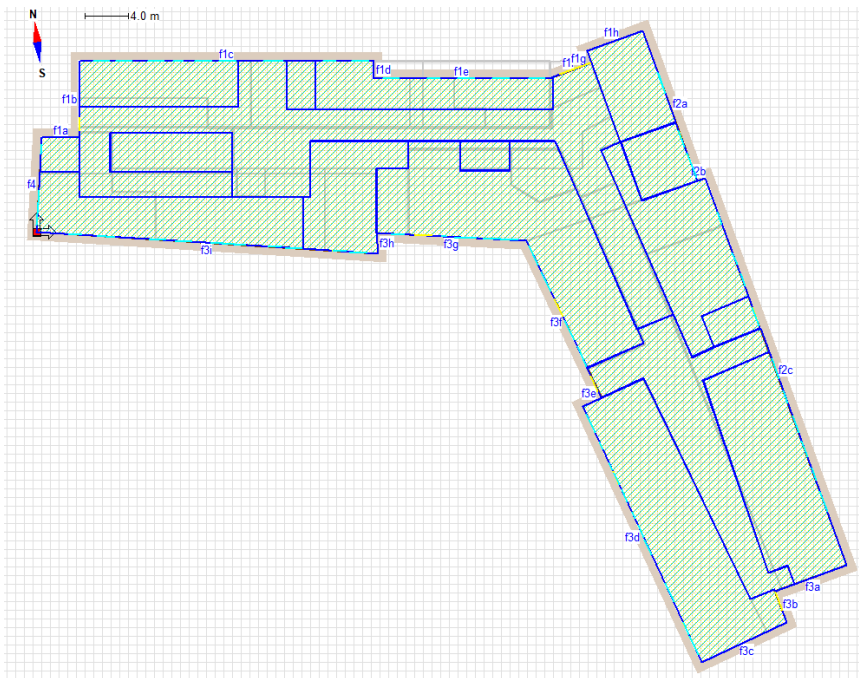
Konstruksjon	U-verdi [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
Yttervegger	0,12
Tak	0,09
Gulv	0,08
Vinduer og dører	0,8
Lystransmisjon for vindu [%]	60
Solfaktor for vindu [-]	0,33
Normalisert kuldebroverdi [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]	0,03
Lekkasjetall (n50) [1/h]	0,30

Vinduer og dører ble plassert og modellert ut fra fasadetegninger med tilhørende angivelser for mål og type vindu. Det er tatt i bruk detaljerte vinduer i modellen for å kunne endre på vinduets egenskaper. Det ble lagt inn utvendige markiser for alle vinduene for å vise til den utvendige automatiske solskjermingen som er installer på sykehjemmet, med regulering ut fra solstrålingen for bygget.

8.2.4 Soneinndeling

For å bestemme soneinndelingen i modellen er det tatt utgangspunkt i beskrivelse for inndeling av en bygning i soner fra SN/TS 3031:2016. Soneinndeling for en bygning skal i følge standarden gjennomføres ut fra type bygning, bruksmønster for bygningen, behov for oppvarming og kjøling, forskjell i soltilskudd og interne varmetilskudd, behovet for ventilasjon, bruk av tekniske installasjoner, belysningssoner, og type ventilasjons-, oppvarmings- og kjølingsanlegg. [24]

Det ble ut fra faktorene delt inn i totalt 59 soner, der 2-4 etasje ble inndelt i 11 soner hver, ettersom disse etasjene har omtrent lik oppbygging og romfordeling. Videre ble første etasje og kjeller på sykehjemmet delt inn med henholdsvis 16 og 10 soner. Figur 8.2 viser soneinndelingen av første etasje for modellen av Eidet omsorgssenter. Et høyt antall soner vil gi en bedre tilnærning til den virkelige bygningen, samtidig som det resulterer i mer tidkrevende simuleringer av modellen.



Figur 8.2: Soneinndeling for 1. etasje i Eidet Omsorgssenter

8.2.5 Tidsplaner og interne varmetilskudd

Det ble laget en egendefinert kalender for helligdager og fridager for Norge med utgangspunkt i mal over helligdagene for Sverige, som var tilgjengelig i IDA ICE. For å finne tidsplan og verdier for internlast er det tatt utgangspunkt i standard verdier fra NS3701 og SN-TS3031. Tabell 8.3 viser en oversikt over valgte internlast brukte i simuleringen. Verdien for persontetthet er beregnet med utgangspunkt i et internt varmetilskudd fra personer på 3 W/m^2 i følge NS3701 og et aktivitetsnivå på 108 W/pers som er basert på et aktivitetsnivå på 1 met [34]. For belysning for omsorgssenter tas det utgangspunkt i reelle målte verdier for installert effekt ut fra EMSweb beskrevet i kapittel 7.1.1 på $1,65 \text{ W/m}^2$. Verdien for tappevann tar også utgangspunkt i reell målt verdi over forbruk fra EMSweb, med en uniform tidsplan. Beregning av energibehov for tappevann finnes i Vedlegg C. Verdien for teknisk utstyr er hentet fra SN/TS 3031:2016, der den maksimale verdien for sykehjem over døgnet er benyttet, og resterende verdier er justert ut fra maksimal verdi ved bruk av oppgitt tidsplan [24].

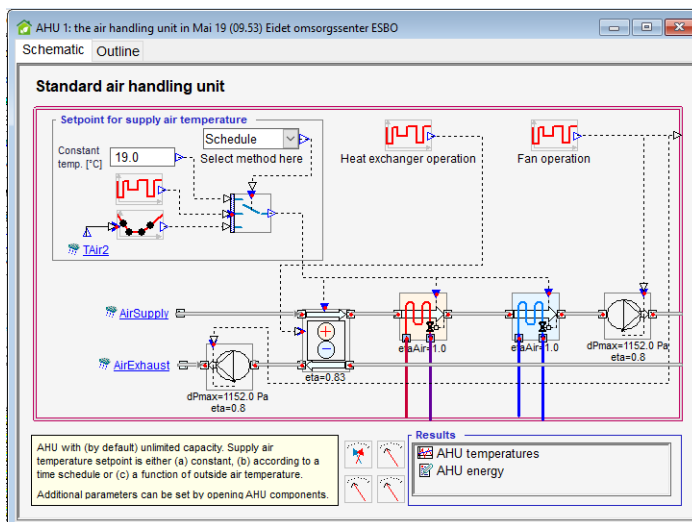
Tabell 8.3: Oversikt over internlaster

Beskrivelse	Verdi
Persontetthet	0,02778 per/m ²
Belysning	1,65 W/m ²
Teknisk utstyr	6,32 W/m ²
Tappevann	21,55 kWh/m ²

Tidsplaner for internlastene er hentet fra SN-TS3031, der verdiene er omregnet til prosent for bruk i IDA ICE. [24] Grafer for tidsplaner for ulike internlaster finnes i Vedlegg G. Videre antas det at 100 % av energibehovet til teknisk utstyr blir tilført sonen som varme, ut fra spesifikeringer gitt i SN-TS3031 [24].

8.2.6 Tekniske anlegg

Ventilasjonsanlegget for Eidet omsorgssenter er en løsning med DCV, som består av en kombinasjon av CAV og VAV for ulike romtyper. For ventilasjon i simuleringen av base-modellen er det tatt utgangspunkt i en løsning med CAV for beboerrom og leiligheter, og en løsning med styring ut fra CO₂ for resterende rom i sykehjemmet. Det er lagt inn verdier for luftmengder ut fra NS3701 og verdier opplyst i dokumentasjon av bygget. [12] Tidsplan for styring av vifter for ventilasjon tar utgangspunkt i en driftstid på 16 timer angitt i SN-TS3031. [24] Driftstiden er antatt fra 5.00 til 21.00 ut fra beskrivelser i NS3031 om at driftstid kan antas som symmetrisk rundt klokken 13.00 for dynamiske timesberegninger [22]. Oversikt over oppbyggingen av ventilasjonsaggregat 1 er vist i Figur 8.3.



Figur 8.3: Oversikt over oppbygging av ventilasjonsaggregat 1

Oppvarmings- og kjølingssettpunkt for modellen av Eidet omsorgssenter er ut fra sett-punkttemperaturer fra målesystemet og temperaturmålinger gjennomført på sykehjemmet fra november 2017 til januar 2018 bestemt som vist i Tabell 8.4. Graf over temperaturmålinger gjennomført på sykehjemmet vises i Figur 9.8 i Kapittel 9.4. Settpunkttemperaturen er stilt inn individuelt for rommene og det kan dermed forekomme forskjeller fra beregningene i modellen, det er likevel valgt å gå ut fra verdiene oppgitt i Tabell 8.4.

Tabell 8.4: Temperatursettpunkt for oppvarming og kjøling på Eidet omsorgssenter

Plassering/Beskrivelse	Temperatursettpunkt		
	Oppvarming [°C]		Kjøling [°C]
	I driftstiden	Utenfor driftstiden	
Fellesrom for beboere	24	22	26
Beboerrom og leiligheter for beboere	23	23	26
Kontorer og personalrom	21	21	24
Gang/Rom i kjeller	21	19	24

For å dimensjonere behovet for romoppvarming og kjøling ble det kjørt simulering for varmebelastning med ideell oppvarming og kjøling i hvert rom. Ut fra resultatet fra simuleringene ble det satt inn en radiator i hver sone med beregnet oppvarmingsbehov, i tillegg til en fancoil i rom for blant annet skittentøy og bårerom. Tabell 8.5 viser en oversikt over tekniske spesifikasjoner som er inkludert i oppbyggingen av modellen.

Tabell 8.5: Tekniske spesifikasjoner for simulering

Beskrivelse	Verdi
Driftstid oppvarming og ventilasjon	16/7/52
Luftmengder i driftstid	7,2 m ³ /hm ²
Luftmengder utenfor driftstid	3,0 m ³ /hm ²
Temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner	78 %
SFP-faktor vifter	1,5 kW/(m ³ /s)

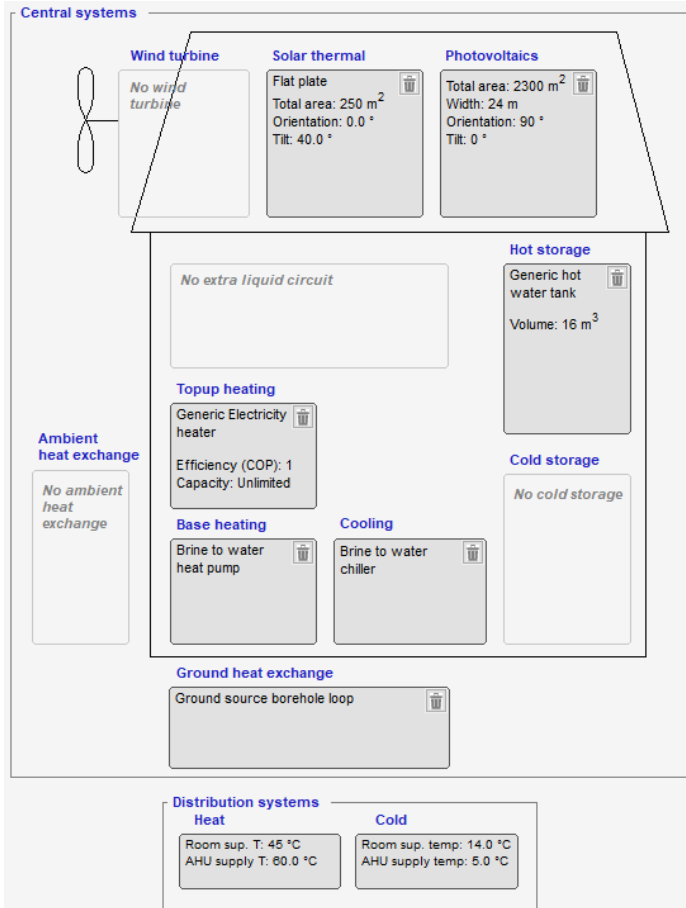
Forskning på roterende varmevekslere gjennomført av Peng, Liu et. al viser at effektiviteten for roterende varmevekslere sjelden oppnår den antatte teoretiske effektiviteten. Studien tok utgangspunkt i målinger fra Power House Kjørbo, der resultatene viser at effektiviteten ved ulike luftmengder er lavere enn det teoretisk antatte. Undersøkelsen av ulike luftmengder viser en effektivitet på mellom 75 % og 80 %. [118] For simuleringene av Eidet omsorgssenter, er det dermed valgt å ta utgangspunkt i en effektivitet på varmegjenvinneren på 78 %.

8.2.7 Oppbygging av ESBO plant

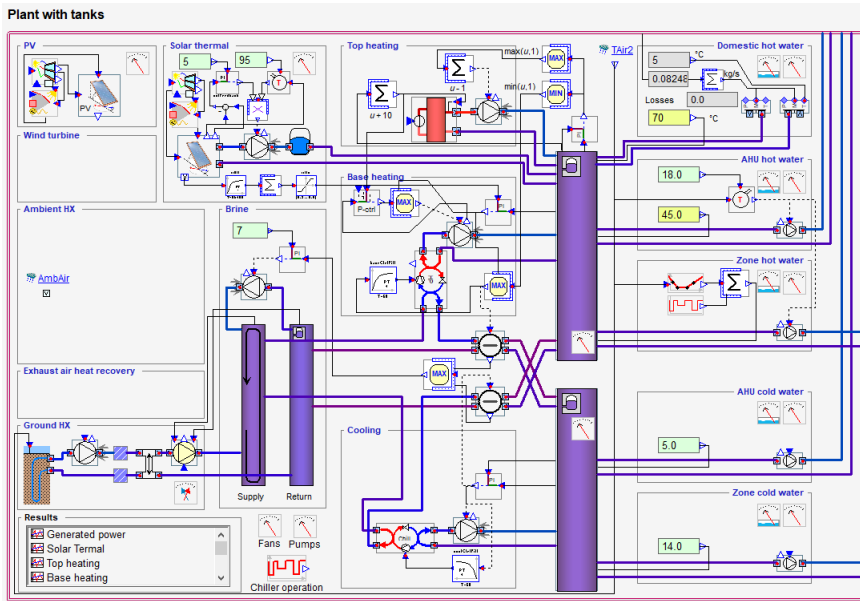
Energianlegget for modellen ble bygget i ESBO-plant (Early Stage Building-Optimization plant) i IDA ICE. ESBO-plant legger til rette for å undersøke ulike fornybare energikilder

og lager en modell med et komplekst energisystem. I ESBO-plan ble energisystemet med grunnvarmepumpe, solfangere og solceller lagt inn for modellen med verdier hentet fra Kapittel 7.2.

Når verdier for fornybare energikilder til modellen var lagt inn ble energisystemet sammensatt til en ferdig modell i IDA ICE. Figur 8.4 viser en oversikt over inputverdier for energisystemet, og Figur 8.5 viser den ferdige oppbyggingen av energisystemet for modellen av Eidet omsorgssenter i IDA ICE.



Figur 8.4: Komponenter valgt for energisystemet på omsorgssenteret



Figur 8.5: Oppbyggingen av energisystemet

8.3 Oppbygging av basemodell

Oppbygging av basemodellen ble gjennomført på bakgrunn av simuleringen av Eidet omsorgssenter, med utgangspunkt i samme bygningskropp, orientering og klima. I tillegg ble likt antall og plasseringen av sonene bruk i simuleringene av basemodellen. Det ble tatt utgangspunkt i lik oppbygging som for omsorgssenteret, for å kunne ha et sammenligningsgrunnlag for hva som er bra og hva som er mindre bra ved tiltakene som er implementert på omsorgssenteret. Tabell 8.6 viser en oversikt over parametre som ikke tilsvarer med Eidet omsorgssenter, men som ble implementert i basemodellen for simulering av tiltakspakker for å redusere energi- og effektbruk. Verdiene for varmetilskudd fra personer og teknisk utstyr er hentet fra NS3701, mens energibehovet for varmtvann er hentet fra NS3031 [22, 34]. Settpunkttemperaturer for oppvarming og kjøling er hentet fra SN-TS3031 [24].

Tabell 8.6: Oversikt over parametre benyttet til simulering av basemodell

Beskrivelse	Verdi
Varmetilskudd fra personer	3 W/m ²
Varmetilskudd fra teknisk utstyr	4 W/m ²
Varmtvann	5,1 W/m ²
Settpunkttemperatur for oppvarming (i/utenfor driftstiden)	21°C/19°C
Settpunkttemperatur for kjøling	24°C

8.3.1 Tiltak for evaluering av klimaskjerm og ventilasjon

For sammenligningen av tiltak ble det bruk to ulike forbedringsnivåer for hver faktor som beskrevet i kapittel 2.3.1, i tillegg til en verdi mellom valgte forbedringsnivåer for å undersøke tiltak med middels forbedring. Det mellomste forbedringsnivået er listet som forbedringsnivå tre for alle faktorene. Verdiene som er brukt til simulering av tiltak for bygningskroppen, ventilasjon, belysning og solskjerming er vist i Tabell 8.7 til 8.11. Verdier brukt i simuleringene for ulike forbedringsnivå er hentet fra teknisk forskrift (TEK17), NS3701 og NS3031, i tillegg til at enkelte verdier er antatt for å undersøke forbedringsmulighetene.

Bygningskroppen

Tiltak og forbedringsnivå for å redusere energi- og effektbruken knyttet til bygningskroppen er listet i Tabell 8.7. De ulike parametrene for tiltakene er satt sammen i tiltakspakker som er simulert i IDA ICE for å undersøke hvilken kombinasjon av verdier som gir den laveste energi- og effektbruken for sykehjem, og hvilke som resulterer i økte verdier. Sammensetningen av tiltakspakker er beskrevet i Kapittel 2.3.1.

Tabell 8.7: Tiltak for bygningskroppen

Forbedringsnivå	Tiltak					
	U-verdi [W/m ² K]				Lekkasjetall (n ₅₀) [h ⁻¹]	Normalisert kuldebroverdi [W/(m ² K)]
	Yttervegg	Tak	Gulv	Vindu		
1	0,22	0,18	0,18	1,20	1,50	0,07
2	0,12	0,09	0,08	0,80	0,60	0,03
3	0,18	0,13	0,10	1,00	1,00	0,05

Ventilasjonssystem

Tabellene 8.8 til 8.10 viser tiltak som ble benyttet for å undersøke energieffektive løsninger for ventilasjon. Tabell 8.8 lister opp ulike løsninger for ventilasjon, der det er valgt å bruke et CAV system med maksimal luftmengde for beboerrom, leiligheter og kontorer på sykehjemmet, ettersom det antas at det vil være personer til stede på disse rommene til enhver tid. I fellesområdene er det valgt å simulere tre ulike tiltak for regulering av luftmengdene i rommet. Luftmengdene som er brukt til simulering av ulike tiltakspakker er vist i Tabell 8.9. Verdiene for luftmengder tar utgangspunkt i krav til luftmengder oppgitt i teknisk forskrift (TEK17) og passivhusstandarden. Ulike verdier for varmegjenvinning i ventilasjonssystemet og SFP blir listet i Tabell 8.10 for simulering av varierende effektiviteter for ventilasjonssystemet i tiltakspakkene.

Tabell 8.8: Løsninger av ventilasjonssystem for sykehjem

Forbedringsnivå	Tiltak	
	Romtype	Løsning for ventilasjon
1	Beboerrom/leiligheter og kontor Fellesområder	CAV maks luftmengde VAV (tidsstyrt nattsenkning)
2	Beboerrom/leiligheter og kontor Fellesområder	CAV maks luftmengde DCV regulert ut fra CO ₂ + temp
3	Beboerrom/leiligheter og kontor Fellesområder	CAV maks luftmengde DCV regulert ut fra CO ₂

Tabell 8.9: Luftmengder for ventilasjon

Forbedringsnivå	Tiltak			
	I driftstiden		Utenfor driftstiden	
	[m ³ /m ² s]	[l/m ² s]	[m ³ /m ² s]	[l/m ² s]
1	9,00	2,50	2,00	0,56
2	14,00	3,89	3,00	0,83
3	7,00	1,94	3,00	0,83

Tabell 8.10: Virkningsgrad og SFP for ventilasjonssystem

Forbedringsnivå	Tiltak	
	Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner [%]	Spesifikk vifteeffekt i ventilasjonsanlegg (SFP) [kW/(m ³ /s)]
1	70	2,00
2	83	1,00
3	80	1,50

Belysning og solskjerming

Tiltak for å simulere reduksjon i energi- og effektbruk til belysning og solskjerming er listet i Tabell 8.11. Forbedringsnivå 1 benytter lette innvendige gardiner, mens forbedringsnivå 2 benytter utvendig solskjerming med en markiseløsning regulert ut fra solinnstråling. Den tredje løsningen listet i tabellen benytter en løsning med solskjerming i vindusglass, der solskjermingen er implementert mellom rutene i vinduet.

Tabell 8.11: Tiltak for belysning og solskjerming

Forbedringsnivå	Tiltak	
	Belysning [W/m^2]	Solskjerming
1	8,00	Innvendig solskjerming ($g = 0,71$, $T = 0,67$, $u = 0,87$)
2	5,00	Utvendig solskjerming
3	6,00	Solskjerming i vindusglass ($g = 0,62$, $T = 0,61$, $u = 0,77$)

8.3.2 Tiltak for fornybar energiproduksjon, oppvarming og kjøling

For å simulere oppvarmings- og kjølesystemer i kombinasjon med fornybar energiproduksjon ble det valgt ut tiltak som vist i Tabell 8.12 til 8.14. Tiltakene baserte seg på fornybare energikilder som grunnvarmepumpe og solfanger for varmeproduksjon i kombinasjon med solceller for produksjon av elektrisitet. Kombinasjonene av tiltak ble delt inn i tiltakspakker som ble satt i sammen med utvalgte tiltakspakker fra simuleringene av generelle tiltakspakker.

Verdiene benyttet for dimensjonering av solcelleanlegg, anlegg med solfangere og fancoil tar utgangspunkt i verdier benyttet for Eidet omsorgssenter, i tillegg til verdier og antagelser ut fra litteratur oppgitt i Kapittel 5.3.4. Resultatet av den teoretiske solinnstrålingen for Eidet omsorgssenter ved 40° brukt for dimensjoneringen er vist i Tabell H.2 i Vedlegg H. Verdier for dimensjonering av varmepumpeanlegget tar utgangspunkt i litteratur oppgitt i Kapittel 5.3.4, i tillegg til beregninger av antall borehull ut fra nødvendig varmeproduksjon vist i Tabell H.1 i Vedlegg H.

Tiltakspakke 1

Tabell 8.12: Oversikt over tiltakspakke 1

Teknologi	Verdi
Grunnvarmepumpe	COP = 3,5 Varmeeffekt = 49kW Kjøleeffekt = 30kW Antall borehull = 7 stk (200 m pr. stk)
Solceller	Areal = 1500 m^2 Virkningsgrad = 16 % Maksimal effekt = 90 kW_P Vinkel = 40° Orientering mor sør

Tiltakspakke 2**Tabell 8.13:** Oversikt over tiltakspakke 2

Teknologi	Verdi
Solfanger	Areal = 200 m ² Vinkel = 40° Orientering mor sør Konverteringsfaktor = 0,6
Solceller	Areal = 1500 m ² Virkningsgrad = 16 % Maksimal effekt = 90 kW _P Vinkel = 40° Orientering mor sør
Fancoil	COP=3,2 Kjøleeffekt = 30 kW

Tiltakspakke 3**Tabell 8.14:** Oversikt over tiltakspakke 3

Teknologi	Verdi
Grunnvarmepumpe	COP = 3,5 Varmeeffekt = 49kW Kjøleeffekt = 30kW Antall borehull = 7 stk (200 m pr. stk)
Solfanger	Areal = 200 m ² Vinkel = 40° Orientering mor sør Konverteringsfaktor = 0,6
Solceller	Areal = 1500 m ² Virkningsgrad = 16 % Maksimal effekt = 90 kW _P Vinkel = 40° Orientering mor sør

8.4 Klimakorrigering av energibruk

Værdata med korte tidsintervall for målinger er nødvendig for å gjennomføre gode simuleringer av en bygningsmodell. På bakgrunn av værdata bestemmes grensebetingelsene for komponentene som settes sammen i simuleringen. Det mest ideelle ville vært å ha målinger av værdata for tidspunktene som modelleringen gjennomføres, i tillegg til å ha samme lokasjon som den aktuelle bygningen. Dette er ikke alltid mulig å gjennomføre, og det vil dermed være viktig å temperaturkorrigere målinger av værdata for simuleringene som gjennomføres. [111]

For mange lokasjoner vil det ikke være noe som tilsvare et gjennomsnittlig klima pr. år. I tillegg er det mange parametere i beregning av energibruk for en bygning som er avhengig av værkorrigering. Dokka og Grini nevner blant annet romoppvarming og varme fra ventilasjonsanlegget, som eksempler på parametere som er avhengig klima. [119]

Korreksjon av væravhengig energibruk kan gjennomføres på tre ulike måter; ved hjelp av årlig graddagskorrigering, månedstemperaturkorrigering og full værkorrigering.[119]

8.4.1 Graddagskorrigering

Ved graddagskorrigering gjennomføres en årlig temperaturkorrigering av energibruken. [119] Metoden baserer seg på graddagstallet, definert som differansen mellom en basetemperatur og utetemperatur summert over perioden av året med en lavere utetemperaturen enn innetemperatur. Tidligere ble ofte basetemperaturen innendørs satt til 17 °C. Det ble da antatt at soltilskudd og internlast hevet temperaturen til ønsket nivå. I dag er det mer vanlig å benytte den reelle innetemperaturen, i tillegg til at beregninger av varmetilskuddene gjennomføres separat.[120]

Temperaturkorrigeringen gjennomføres ved at det benyttes en korreksjonsfaktor for hele året. Faktoren er et tall på antall graddager over året for et normalår, til sammenligning for det aktuelle året som skal korrigeres. Metoden er den mest brukte i dag, og kan brukes for alle bygg. Ulemper med metoden er at den bare kan benyttes for å korrigere varmekonsumet, samtidig som det er en forenklet metode som kan være svært unøyaktig. [119]

8.4.2 Månedstemperaturkorrigering

Ved bruk av månedstemperaturkorrigering blir energibruken til oppvarming av romluft og ventilasjon korrigert en gang i måneden, ved hjelp av en korreksjonsfaktor. Det blir i beregningene antatt et proporsjonalt forhold mellom energibruken til oppvarming og temperaturdifferansen mellom basetemperaturen og utetemperaturen. Månedstemperaturkorrigering er en mer detaljert metode enn graddagskorrigering, samtidig som den er enkel og lite tidkrevende. [119] Korrigeringsfaktoren for månedstemperaturkorrigering beregnes ut fra følgende formel [119]:

$$f_T(i) = \begin{cases} \frac{T_{base} - T_{e, reell}(i)}{T_{base} - T_{e, norm}(i)} \\ 1, & \text{hvis } T_{base} - T_{e, reell}(i) < 1 \\ \text{eller hvis } T_{base} - T_{e, norm}(i) < 1 \end{cases} \quad (8.1)$$

- $f_T(i)$ Temperaturfaktoren for hver måned der 1 tilsvare januar
 T_{base} Basetemperaturen for bygget
 $T_{e, reell}(i)$ Målt utetemperatur for måned (i)
 $T_{e, norm}(i)$ Normalisert utetemperatur for måned (i), som enten kan være månedsmiddeltemperatur brukt i beregningen/simuleringen ved etterprøving av prosjektets energibruk eller månedsmiddeltemperatur for en normalperiode

Basetemperaturen blir i beregningene antatt å være utetemperaturen hvor bygningen har et oppvarmingsbehov, altså vil en bygning ha et oppvarmingsbehov ved utetemperaturer lavere enn basetemperaturen. Verdien av basetemperaturen avhenger av blant annet soltilskudd og internlast, og kan beregnes for ulike byggetekniske standarder og lokasjoner. [119] Dokka og Grini har gjennomført beregninger av basetemperatur for ulike bygningsstandarder basert på simuleringer. Resultatet av de beregnede basetemperaturene er listet i Tabell 8.15 [119].

Tabell 8.15: Beregnede basetemperaturer for ulike bygningsstandarder [119]

Bygningsstandard	T_{base}
Passivhusstandard	9°C
TEK10-nivå	13°C
TEK97-nivå	15°C
TEK87-nivå	17°C

8.4.3 Full værkorrigerer

Full værkorrigerer er en detaljert metode, som vil være mer avansert å gjennomføre enn de to foregående korrigeringsmetodene. Metoden tar i tillegg til utetemperatur, som er grunnlaget for graddagskorrigerer og månedstemperaturkorrigerer, også hensyn til vindforhold og solinnstråling. Prinsippet for metoden går ut på å tilpasse modellen som simuleres til reelle parametere og observert vær på det aktuelle området. Den korrigerer modellen vil da kunne brukes direkte for å sammenligne simulerte verdier med aktuelle målte verdier. [119]

I oppgaven er det tatt utgangspunkt i korrigerer av energibruken ved hjelp av månedstemperaturkorrigerer. Beregning av korrigeringsfaktor for Eidet omsorgssenter med tilhørende basetemperatur er gitt i Vedlegg I.

Resultat

Resultatene fra tilstandsanalyse med simulering av energi- og effektbruk for Eidet omsorgssenter, i tillegg til temperaturmålinger og resultat fra spørreundersøkelsen beskrives i kapittelet. Videre blir resultatene fra simuleringer av tiltak for å redusere energi- og effektbruk generelt for sykehjem vist, i tillegg til resultatene fra økonomisk analyse, evaluering av inneklime og miljøpåvirkning fra tiltakene.

9.1 Temperaturkorrigering

Det ble gjennomført temperaturkorrigering av energibruken for oppvarming og kjøling på Eidet omsorgssenter for å kunne sammenligne simulerte verdier med målte verdier for sykehjemmet. I beregningene ble det tatt utgangspunkt i metoden for månedstemperaturkorrigering beskrevet i Kapittel 8.4.2. For å kunne gjennomføre temperaturkorrigering for energibruken må det bestemmes en basetemperatur for bygget. Ettersom Eidet omsorgssenter er bygget ut fra passivhusstandarden ble det bestemt å ta utgangspunkt i verdien beregnet av Dokka og Grini for passivhusstandard på 9°C oppgitt i Tabell 8.15 i Kapittel 8.4.2.

Reelle verdier for månedsmidlere temperatur ($T_{e, reell}$) ble hentet fra hjemmesiden til yr.no [121], med gjennomsnittlige verdier per måned for mai-desember 2017, og januar-april 2018. Temperaturene som ble benyttet i beregningene er fra Tennfjord i Haram kommune, som vil tilsvare klima for Eidet omsorgssenter. Normalisert månedstemperatur ($T_{e, norm}$) ble hentet fra hjemmesidene for klima [122]. Verdiene tar utgangspunkt i målinger for Brattvåg i Haram kommune, som er den nærmeste målestasjonen tilgjengelig i databasen. I klima er det gitt døgnnormaler for perioden 1961 til 1990 som er den siste registrerte måleperioden for denne målestasjonen.

Ut fra faktorene beskrevet ble temperaturkorrigeringsfaktoren beregnet for hver måned.

verdiene for normaliserte månedstemperaturer, månedsmidlere temperaturer og faktorene for temperaturkorrigering er listet i Tabell 9.1. Verdiene av temperaturkorrigeringsfaktoren som er satt til 1,00 i tabellen er korrigert ut fra grensebetingelsene beskrevet i Formel 8.1 i Kapittel 8.4.2. Verdier og mellomregninger brukt for beregning av temperaturkorrigeringsfaktor finnes i Tabell I.1 i Vedlegg I.

Tabell 9.1: Månedsmidlere temperatur, normert utetemperatur og temperaturkorrigeringsfaktor

Måned	Månedsmidlere temperatur [°C]	Normalisert utetemperatur [°C]	Temperaturkorrigeringsfaktor (f_T)
Jan	-0,7	1,8	1,35
Feb	-3,1	1,6	1,64
Mar	-0,3	2,7	1,48
Apr	0,8	4,5	1,82
Mai	6,1	8,3	1,00
Jun	7,8	11,0	1,00
Jul	9,6	12,6	1,00
Aug	10,0	12,9	1,00
Sep	9,2	10,7	1,00
Okt	4,9	8,4	1,00
Nov	0,2	4,6	2,00
Des	2,5	2,9	1,07

9.2 Energi - og effektbruk på Eidet omsorgssenter

Energi- og effektbruk for Eidet omsorgssenter ble simulert i IDA ICE. I tillegg har verdier for energibruk og levert energi til sykehjemmet blitt hentet fra resulterende SIMIEN-fil fra konsultentselskapet på prosjektet, målesystemet for Eidet omsorgssenter og registrerte verdier fra strømleverandør (nvn.no).

9.2.1 Simulert energibruk i IDA ICE

Resultatet fra simulering av energibruk for Eidet omsorgssenter i IDA ICE er vist i Tabell 9.2, der det er satt opp et energibudsjett over aktuelle energiposter. Netto energibruk uten hensyn til temperaturkorrigering av resultatene gir en verdi på 113,65 kWh/m² som vist i tabellen. De høyeste energipostene fra simulering av Eidet omsorgssenter i IDA ICE er ut fra tabellen energibruk til drift av vifter og oppvarming av varmtvann som utgjør henholdsvis 29 % og 25 % av den totale energibruken for bygget. Den totale energibruken til oppvarming står for 15 % av energibruken over året for sykehjemmet.

Tabell 9.2: Energibudsjett for den totale energibruken for Eidet omsorgssenter

Energipost	Energibehov [kWh]	Spesifikt energibehov [kWh/m ²]
Elektrisk oppvarming	40 944	5,82
Ventilasjonsvarme	80 185	11,39
Varmtvann	195 998	27,85
Drift av vifter	230 730	32,78
Drift av pumper	233	0,03
Belysning	76 966	10,94
Teknisk utstyr	162 149	23,04
Elektrisk kjøling	11 967	1,70
Ventilasjonskjøling	687	0,10
Total kjøling	12 653	1,80
Total oppvarming	121 129	17,21
Totalt energiforbruk	799 858	113,65

Tabell 9.3 viser en oversikt over energibruk og levert energi til bygget ut fra beregninger i IDA ICE og temperaturkorrigert forbruk for Eidet omsorgssenter. Tabellen viser at den temperaturkorrigerede leverte energien for sykehjemmet er 99,52 kWh/m², mens den totale korrigerede energibruken for Eidet omsorgssenter resulterte i en verdi på 114,12 kWh/m². Beregning av temperaturkorrigert energibruk er vist i Tabell I.2 i Vedlegg I.

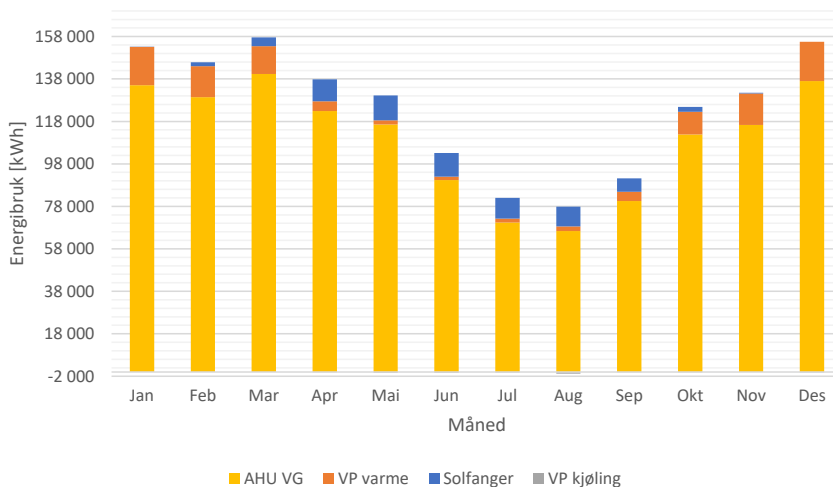
Tabell 9.3: Total energibruk og levert energi for Eidet omsorgssenter

Beskrivelse	Energibruk [kWh]	Spesifikk energibruk [kWh/m ²]
Total energibruk	799 858	113,65
Temperaturkorrigert energibruk	803 179	114,12
Levert energi med korrigert forbruk	700 456	99,52

En oversikt over den totale fornybar energiproduksjon for omsorgssenteret er vist i Tabell 9.4. Tabellen deler inn i elektrisitetsproduksjon fra solceller og varmeproduksjon fra solfanger og grunnvarmepumpen, i tillegg til frikjøling gitt av grunnvarmepumpen. I tabellen vises også den totale varmegjenvinningen fra ventilasjonssystemet, som utgjør den største andelen av gratis energi for bygget.

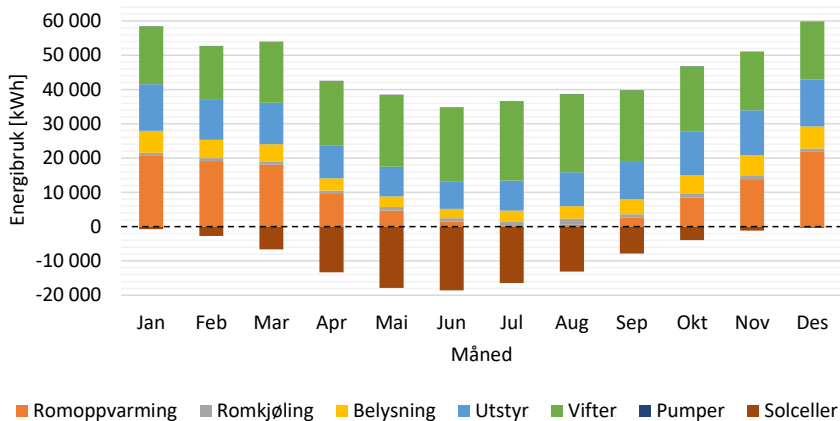
Tabell 9.4: Fornybar energiproduksjon for Eidet omsorgssenter

Måned	Solceller [kWh]	Solfanger [kWh]	Grunnvarme [kWh]	Grunnkjøling [kWh]	AHU varmegjenvinner [kWh]
Jan	-742,80	138,40	15 704,00	0,00	115 302,00
Feb	-2 711,09	2 219,00	11 520,00	0,00	110 592,00
Mar	-6 615,17	4 206,00	10 171,00	-47,50	119 104,00
Apr	-13 309,22	10 229,00	2 663,00	-224,00	104 624,00
Mai	-17 913,17	11 153,00	1 157,00	-617,30	100 265,00
Jun	-18 567,25	10 689,00	1 132,00	-535,00	77 871,00
Jul	-16 426,77	10 068,00	1 399,00	-427,20	60 329,00
Aug	-13 145,89	9 575,00	1 728,00	-881,90	56 745,00
Sep	-7 829,19	6 508,00	3 369,00	-106,20	68 188,00
Okt	-3 945,54	3 083,00	8 100,00	-15,90	94 035,00
Nov	-1 145,66	347,70	12 416,00	-0,20	971 815,00
Des	-369,19	-4,30	16 211,00	0,00	117 227,00
Totalt	-102 720,93	68 211,80	85 570,00	-2 855,20	1 122 097,00


Figur 9.1: Utnyttet fri varmeenergi for Eidet omsorgssenter

I Figur 9.1 vises den totale utnyttede varmeproduksjonen per måned for sykehjemmet. Grafen i figuren viser at varmegjenvinningen fra ventilasjonssystemet, som er vist med gult, er den dominerende kilden til gratis varmeenergi. For sommermånedene viser grafen at solfangerne bidrar med en betydelig andel av varmeproduksjon til bygget. Produksjonen er relativt jevnt høy for månedene april til august, med den største varmeproduksjonen fra solfangerne i mai og juni, ved den høyeste solinnstrålingen for Eidet omsorgssenter. Varmeproduksjonen fra grunnvarmepumpen installert på omsorgssenteret bidrar videre med en betydelig andel varmeproduksjon for månedene som solfangerne ikke produserer

så mye varme. Den største varmeproduksjon fra grunnvarmepumpen oppnås i desember og januar. I vinterhalvåret når solinnstrålingen er lav, bidrar dermed grunnvarmepumpen med produksjon av varme for å dekke oppvarmingsbehovet, noe som sikrer fleksibilitet for anlegget og en reduksjon i levert energi for bygget.



Figur 9.2: Oversikt over totalt forbruk og produksjon av elektrisitet

Den totale energiproduksjonen fra solcellene for bygget er sammenlignet med det totale forbruket til elektrisitet for omsorgssenteret i Figur 9.2. I figuren vises produksjonen fra solcellene som negativ ettersom produksjonen er et tilskudd av energi til sykehjemmet. Grafen viser at det er et betydelig høyere forbruk av elektrisitet enn størrelsen på produksjonen fra solceller for Eidet omsorgssenter. Til tross for en lavere produksjon av elektrisitet enn forbruk, vil solcelle bidra til en betydelig reduksjon av levert energi for bygget over året som vist ut fra forskjellen mellom energibruk og levert energi for Eidet omsorgssenter i Tabell 9.3.

Solcelleproduksjonen er ut fra grafen størst i mai og juni, da solinnstrålingen for Eidet omsorgssenter er størst. Figuren viser videre at energiposten til utstyr som illustreres med blå farge i grafen er forholdsvis jevn over året for sykehjemmet. Videre viser grafen at andelen av energibruk til belysning er størst i vintermånedene og halveres på sommeren for sykehjemmet. Oppvarmingsbehovet er ut fra grafen forholdsvis jevnt for månedene desember til mars, mens det reduseres betraktelig om sommeren, og utgjør den minste andelen av energibruk i månedene juli og august. Variasjonen i energibruk til oppvarming for Eidet omsorgssenter stemmer godt overens med et typisk oppvarmingsforbruk.

9.2.2 Energibruk fra SIMIEN beregninger

Verdiene for levert energi og netto energibruk hentet fra SIMIEN-fil er vist i Tabell 9.5 og 9.6. Tabellen viser at spesifikk levert energi fra SIMIEN resulterte i en verdi på 43 kWh/m^2 .

Målet for Eidet omsorgssenter var å oppnå en spesifikk levert energi for sykehjemmet på 20 kWh/m² uten å inkludere levert energi for teknisk utstyr. Ved å trekke fra den spesifikke verdien for teknisk utstyr fra Tabell 9.5, vil den resulterende spesifikke leverte energien fra simuleringene for omsorgssenteret i SIMIEN være 19,6 kWh/m² og dermed innenfor målet. Netto energiforbruk fra SIMIEN er ut fra Tabell 9.6 beregnet til 75,2 kWh/m². For SIMIEN-beregningen vil de største energipostene vist i tabellen være teknisk utstyr og belysning med 31 % og 26 % av netto energibruk.

Tabell 9.5: Netto levert energi fra SIMIEN beregninger

Energipost	Levert energi [kWh]	Spesifikt levert energi [kWh/m ²]
Direkte el.	280591	39,9
El. til varmpumpesystem	17841	2,5
El. til solfangersystem	1430	0,2
Annen energikilde	2704	0,4
Netto levert energi	302566	43,0

Tabell 9.6: Energibudsjett fra SIMIEN beregninger utført av konsultentselskapet

Energipost	Energibehov [kWh]	Spesifikt energibehov [kWh/m ²]
1a Romoppvarming	5	0,0
1b Ventilasjonvarme (varmebatteri)	28368	4,0
2 Varmtvann (tappevann)	91207	13,0
3a Vifter	107234	15,2
3b Pumper	818	0,1
4 Belysning	136048	19,3
5 Teknisk utstyr	164426	23,4
6a Romkjøling	0	0,0
6b Ventilasjonkjøling (kjølebatterier)	802	0,1
Totalt netto energibehov, sum 1-6	528907	75,2

9.2.3 Målt energibruk

Målt levert energi og målt spesifikk levert energi for Eidet omsorgssenter hentet fra EMSweb og strømleverandør (nvn.no) er vist i Tabell 9.7. Verdiene er gitt for månedene mai til desember 2017 og januar til april 2018, for å inkludere et fullstendig år med målinger etter at sykehjemmet ble tatt i bruk i slutten av april 2017. Det er oppgitt av systemoperatør på sykehjemmet at det har forekommet en del feil i EMSweb i løpet av oppstarten av systemet, som reduserer påliteligheten av målingene noe. Tabellen viser at den leverte energi oppgitt fra EMSweb og fra strømleverandør er relativt like med en verdi på henholdsvis 98,41 kWh/m² og 98,85 kWh/m². Ut fra tabellen illustreres det at det høyeste forbruket for sykehjemmet var for januar med en spesifikk levert energi på 12,40 kWh/m², mens det

laveste forbruket var i juni, med 5,10 kWh/m² og 5,11 kWh/m² for målinger fra EMSweb og strømleverandør (nvn.no).

Tabell 9.7: Målt levert energi fra EMSweb og strømleverandør for Eidet omsorgssenter

Mnd	Levert energi EMSweb [kWh]	Levert energi EMSweb [kWh/m ²]	Levert energi nvn.no [kWh]	Levert energi nvn.no [kWh/m ²]
Jan	87 246	12,40	87 288	12,40
Feb	76 158	10,82	76 691	10,90
Mar	68 905	9,79	68 954	9,80
Apr	46 496	6,61	46 554	6,61
Mai	38 930	5,53	39 496	5,61
Jun	35 884	5,10	35 985	5,11
Jul	36 090	5,13	36 215	5,15
Aug	40 500	5,75	40 629	5,77
Sep	45 420	6,45	45 590	6,48
Okt	58 853	8,36	59 228	8,42
Nov	71 369	10,14	72 043	10,24
Des	86 729	12,32	87 035	12,37
Totalt	692 580	98,41	695 708	98,85

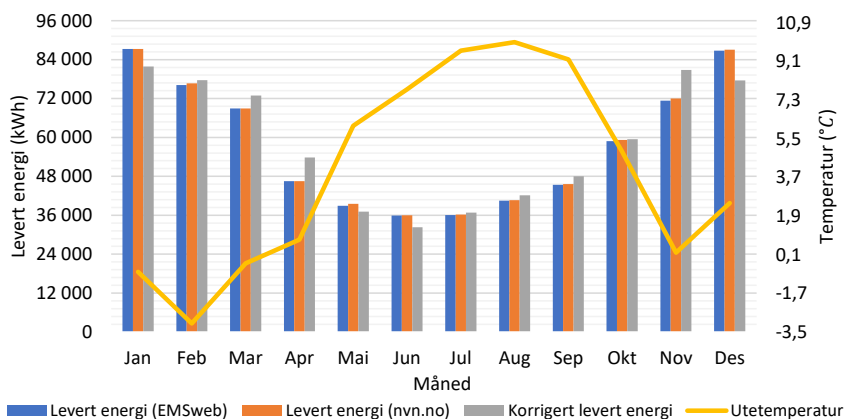
9.2.4 Oversikt over energibruk

Tabell 9.8 viser et sammendrag over verdier for målt og beregnet energibruk for Eidet omsorgssenter, i tillegg til verdier for SIMIEN-fil, Økern sykehjem og bygningsstatistikk utarbeidet av NVE og Enova. Ut fra tabellen vises det til at Eidet omsorgssenter har en lavere energibruk enn standard sykehjem. Energibruken for Eidet omsorgssenter er henholdsvis 40 % og 21 % lavere enn verdier vist for bygningsstatistikk for henholdsvis TEK10 og lavenergibygnings. Videre viser tabellen at beregnet temperaturkorrigert energibruk fra IDA ICE er 20 % lavere enn energibruken for Økern sykehjem i Oslo. Sammenligning med standard verdier og andre sykehjem viser til at Eidet omsorgssenter har klart å redusere netto energibehov for sykehjemmet betraktelig. Tabellen viser videre at verdiene for beregninger av Eidet omsorgssenter gjennomført i SIMIEN er betydelig lavere enn beregningene gjennomført i IDA ICE, der SIMIEN beregningene viser et 34 % lavere energibruk og en 57 % lavere verdi av levert energi til sykehjemmet.

Tabell 9.8: Sammenligning av energibruk for ulike beregninger og sykehjem

Beregningsmetode	Netto spesifikk energibruk (kWh/m ²)
Temperaturkorrigert energibruk i IDA ICE	114,12
Korrigert levert energi i IDA ICE	99,53
Målt levert energi fra EMSweb	98,41
Energibruk fra simulering i SIMIEN	75,20
Levert energi fra simulering i SIMIEN	43,00
Oppgitt energibruk for Økern	143,20
Bygningsstatistikk TEK10/lavenergi	189,00/145,00
Bygningsstatistikk utarbeidet av NVE	239,00
Energigrammen for sykehjem	195,00

Grafen i Figur 9.3 viser sammenligningen av beregnet og målt energibruk for Eidet omsorgssenter, med utetemperaturen for sykehjemmet for den tilsvarende perioden. Kurven viser en typisk fordeling for energibruk ved at behovet stiger når utetemperaturen synker og at oppvarmingsbehovet reduseres når utetemperaturen er høyere. Grafen viser videre at det målte forbruket oppgitt fra EMSweb og strømleverandør, som er vist i blått og oransje, har en god sammenheng over året. Den leverte energien oppgitt fra strømleverandør vises ut fra grafen å være marginalt høyere enn målt energi fra EMSweb for februar og november.

**Figur 9.3:** Sammenligning av målt og simulert levert energi

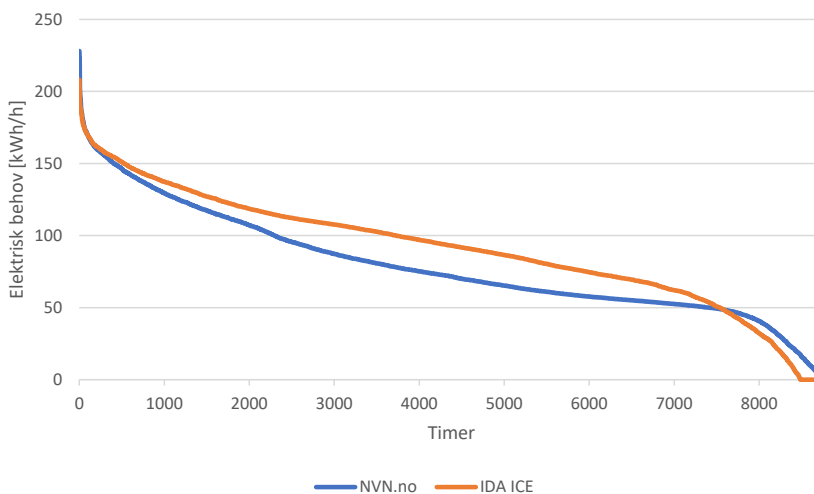
For simuleringene i IDA ICE viser grafen en relativt god sammenheng mellom de simulerte verdiene og målte verdier for sykehjemmet. Månedene mars, april og november har ut fra grafen et noe høyere forbruk for den simulerte modellen av bygget i IDA ICE, mens desember har en lavere verdi av levert energi sammenlignet med den målte verdien.

Forskjellene mellom målt levert energi for Eidet og simulerte verdier fra IDA ICE for desember kan komme av at IDA ICE beregner en bedre elektrisitetsproduksjon fra solceller som resulterer i en lavere verdi av levert energi til bygget for denne måneden. En lavere reell produksjon fra solcellene vil kunne forekomme ved at solcellepanelene påvirkes av det lokale klima, og dermed påvirkes av blant annet snø- og skyggeforhold. En faktor som kan ha ført til en høyere andel levert energi fra simuleringer i modellen i IDA ICE kan være at solcellene er mer effektive ved kaldere temperaturer som vil kunne føre til en lavere verdi for den målte leverte energi for månedene mars, april og november.

9.2.5 Målt og simulert effektbruk for Eidet omsorgssenter

Sammenligning av effektbruk beregnet i IDA ICE og målt effektbruk fra strømleverandør er vist i grafen i Figur 9.4. Kurven viser en god sammenheng mellom kurvene for den simulerte effektbruken og målte effektbruken for Eidet omsorgssenter, der kurvene har tilnærmet lik størrelse og fasong. Toppunktet for det elektriske behovet fra strømleverandør resulterte i en verdi på 228 kWh/h, mens det for den simulerte modellen resulterte i en noe lavere verdi på 208 kWh/h.

Kurven i figuren viser til at det elektriske behovet for bygget går til 0 kWh/h for enkelte timer av året. Dette vil kunne skyldes at den fornybare energien installert for bygget produserer tilstrekkelig energi til at bygget er selvforsynt enkelte timer av året. Ut fra figuren vises det til at IDA ICE har en lengre periode uten levert energi til bygget. Det vil kunne forekomme ettersom den reelle produksjonen av elektrisitet fra solcellene påvirkes av det lokale klima i større grad og vil kunne produsere mindre ut fra snøforhold, temperatur og solforhold.



Figur 9.4: Sammenligning av målt og beregnet elektrisk behov for Eidet omsorgssenter

9.3 Spørreundersøkelse om inneklima

Spørreundersøkelsen ble gjennomført på 50 ansatte ved Eidet omsorgssenter der 32 % av de ansatte fullførte og sendte inn spørreundersøkelsen. Blant de spurte jobber 94 % som sykepleiere eller lignende, mens resterende 6 % arbeider i hjemmesykepleien. Både menn og kvinner deltok på spørreundersøkelsen. 81 % av deltakerne var i aldergruppene 46-55 år og 56-65 år.

På spørsmålet om aktivitetsnivå svarte 81 %, av deltakerne at de gjennomsnittlig hadde et aktivitetsnivå på mellom 2-3 Met. Av de ansatte med et aktivitetsnivå på 2-3 Met svarte 70 % at de også hadde et gjennomsnittlig bekledningsnivå på omtrent 0.5 Clo, som tilsvarer lett bukse, skjorte med korte ermer, underbukse, sokker og sko.

Fullstendig oversikt over spørsmål, antall besvarelser og fordelingen av svarene på spørreundersøkelsen finnes i Vedlegg A.

Temperatur og termisk komfort

På spørsmål om det forekom forskjell i temperatur mellom hodehøyde og gulv, og om deltakerne følte trekk svarte henholdsvis 88 % og 94 % av deltakerne at de sjelden eller aldri er plaget av dette. Videre svarte 31 % at de er plaget av skiftende temperatur i rommet hver dag eller flere ganger i uken. Det kommer videre frem av kommentarer i spørreundersøkelsen, at det er ønskelig med lavere temperaturer på kontor og høyere temperatur på enkelte beboerrom. 69 % av deltakerne sier at de ikke har mulighet til å regulere temperaturen i bygget selv, og det ytres et ønske av enkelte deltakere om mulighet for å lettere kunne regulere temperaturen i ulike rom i bygget.

Tabell 9.9 viser en oversikt over hvordan deltakerne synes og ønsker at temperaturen inne på omsorgssenteret er om sommeren og vinteren. Tabellen viser at 56 % av deltakerne synes at temperaturen inne på sykehjemmet er for høy om sommeren, der 78 % av disse foretrekker at den er nøytral og 11 % foretrekker at det er litt varmt. Tabell 9.9 viser videre at 31 % av de spurte synes det er for kaldt om vinteren, der 80 % av de spurte som mener det er for kaldt om vinteren også mener at det er for varmt om sommeren.

Tabell 9.9: Oversikt over ønskede og følte temperaturer på omsorgssenteret

Spørsmål	Meget varmt/ Varmt/ Litt varmt/	Nøytralt	Kaldt/ Kjølig/ Litt kjølig
Hvordan synes du at temperaturen er om sommeren?	56 %	44 %	0 %
Hvordan foretrekker du at temperaturen er om sommeren?	6 %	88 %	6 %
Hvordan synes du at temperaturen er om vinteren?	19 %	50 %	31 %
Hvordan foretrekker du at temperaturen er om vinteren?	44 %	56 %	0 %

Figur 9.5 viser korrelasjonen mellom aktivitetsnivå, grad av bekledding og oppfattelsen av temperaturen inne på omsorgssenteret om sommeren og om vinteren. I figuren er resultatene fra kategoriene meget varmt, varmt og litt varmt slått sammen til varmt 1,2,3. På samme måte er også litt kjølig, kjølig og kaldt slått sammen til kaldt 1,2,3 i undersøkelsen av korrelasjon for resultatene av spørreundersøkelsen. Figur 9.5 viser at det er en moderat korrelasjon mellom ansatte med et aktivitetsnivå mellom 1,6 og 2,0 Met og en oppfatning av passelig temperatur innendørs både for sommer og vinterforhold. Videre viser figuren at personer som er tilfreds med temperaturen om vinteren ofte også er fornøyd med temperaturen om sommeren. I besvarelsene kommer det også frem at 64 % av deltakerne som ønsker en nøytral temperatur inne om sommeren også ønsker en nøytral temperatur inne på omsorgssenteret om vinteren. Beskrivelser for grad av korrelasjon er vist i Tabell 3.3 i Kapittel 3.2.1.

	4. Hva er ditt gjennomsnittlige aktivitetsnivå?	5. Hva er din bekledding inne på sykehjemmet?			7.1 Hvordan synes du temperaturen er om vinteren?			7.3 Hvordan synes du temperaturen er om sommeren?			
		0,8-1,2 Met	1,6-2,0 Met	3,0 Met	0,3-0,45 clo	0,5-0,6 clo	0,7-0,9 clo	1,0-1,5 clo	varmt 1,2,3	Nøytral	kaldt 1,2,3
5. Hva er din bekledding inne på sykehjemmet?	0,3-0,45 clo	0,00	0,00	0,00							
	0,5-0,6 clo	0,21	0,10	-0,25							
	0,7-0,9 clo	-0,21	-0,10	0,25							
	1,0-1,5 clo	0,00	0,00	0,00							
7.1 Hvordan synes du temperaturen er om vinteren?	varmt 1,2,3	0,28	-0,45	0,25	0,00	0,27	-0,27	0,00			
	Nøytral	-0,41	0,58	-0,29	0,00	-0,17	0,17	0,00			
	kaldt 1,2,3	0,19	-0,23	0,09	0,00	-0,06	0,06	0,00			
7.3 Hvordan synes du temperaturen er om sommeren?	varmt 1,2,3	0,30	-0,56	0,34	0,00	-0,03	0,03	0,00	0,39	-0,75	0,47
	Nøytral	-0,30	0,58	-0,34	0,00	0,03	-0,03	0,00	-0,39	0,75	-0,47
	kaldt 1,2,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Figur 9.5: Korrelasjon knyttet til aktivitetsnivå, bekledding og temperatur på Eidet omsorgssenter

Luftkvalitet

Av de spurte svarer 69 % at luften i bygget er tung eller dårlig minst en dag i uken. I tillegg svarer 75 % at luften i bygget er tørr minst en gang i uken. Figur 9.6 viser at det er en sterk korrelasjon mellom deltakere som synes luften i bygget er tørr hver dag og som er plaget av tørre øyne hver dag i arbeidstiden. Dette vises også ut fra kommentarer i spørreundersøkelsen, der det blir nevnt av flere deltakere at luften er tørr, noe som fører til plager som tørre lepper og øyne, i tillegg til tørr hals. Blant kommentarene til spørsmålet om oppfattelsen av luftkvaliteten trekkes særlig kontor og vaktrom ut som rom med tung luft og dårlig luftkvalitet.

Figur 9.6 viser at det er en sterk korrelasjon for deltakere som sjeldent synes luften er tørr og sjeldent er plaget av tørre øyne. I tillegg viser figuren en moderat korrelasjon mellom deltakere som sjelden er plaget av hverken vondt i hodet eller tørre øyne, og i spørreundersøkelsen svarer 38 % av deltakerne at luften er tilfredsstillende eller føles frisk.

		8.2 Er du plaget av mye vondt i hodet i løpet av arbeidstiden?				8.3 Synes du luften i bygget er tørr?			
		Hver dag	3-4 ganger pr uke/ 1-2 ganger per uke	1-2 ganger per mnd	Sjeldnere/ Aldri	Hver dag	3-4 ganger pr uke/ 1-2 ganger per uke	1-2 ganger per mnd	Sjeldnere/ Aldri
8.3 Synes du luften i bygget er tørr?	Hver dag	0,00	0,16	0,26	-0,26				
	3-4 ganger pr uke/ 1-2 ganger per uke	0,22	0,09	-0,15	-0,15				
	1-2 ganger per mnd	0,00	0,00	0,00	0,00				
	Sjeldnere/Aldri	-0,22	-0,28	-0,15	0,45				
8.4 Er du plaget av tørre øyne i løpet av arbeidstiden?	Hver dag	0,10	-0,04	-0,20	0,07	0,77	-0,45	0,00	-0,45
	3-4 ganger pr uke/ 1-2 ganger per uke	0,22	0,09	0,45	-0,45	0,00	0,33	0,00	-0,33
	1-2 ganger per mnd	-0,10	0,54	-0,07	-0,33	-0,26	0,45	0,00	-0,15
	Sjeldnere/Aldri	-0,25	-0,32	-0,17	0,52	-0,67	-0,08	0,00	0,86

Figur 9.6: Korrelasjon over spørsmål tilknyttet luftkvalitet på Eidet omsorgssenter

Støy

Blant deltakerne i spørreundersøkelsen svarer 44 % at det ikke forekommer forstyrrende støy inne på omsorgssenteret, mens 44 % svarer at det forekommer forstyrrende støy av og til. På spørsmålet om det er lytt mellom rommene svarer 56 % ja, eller at det forekommer av og til. Blant deltakerne som svarer at det av og til forekommer forstyrrende støy svarer 57 % også at det forekommer forstyrrende susing eller during fra ventilasjonsanlegget eller andre installasjoner i bygget.

Belysning

50 % av de spurte svarer at belysningen ikke er, eller i liten grad er, tilpasset behov for både arbeid og sosiale aktiviteter. Det nevnes at det ikke er mulig å regulere belysningen på pasientrommene og at det på enkelte pasientrom forekommer sterk belysning også om natten ved bevegelse i rommene. I tillegg nevnes det at lyssensorene på enkelte rom ikke fungerer som ønsket, og at belysningen på kontor og vaktrom er sterk uten at det er mulighet for å regulere lysstyrken eller skru av lyset. Videre svarer 50 % av deltakerne at det forekommer plagsomt lys fra sola.

Inneklima og arbeidsforhold

Tabell 9.10 viser en oversikt over hvordan ansatte mener at forhold tilknyttet inneklima påvirker effektiviteten på arbeidsplassen. Tabellen viser at 69 % av deltakerne mener at temperaturen på omsorgssenteret og inneklima generelt verken har en positiv eller negativ effekt på effektiviteten. Totalt svarer 31 % av deltakerne at luftkvaliteten på sykehjemmet har en negativ effekt på effektivitet av arbeidet, og 37 % svarer at belysningsnivået har en negativ effekt på effektiviteten.

På spørsmålet om hvordan deltakerne generelt oppfatter inneklimate på omsorgssenteret svarer 50 % av deltakerne at de er fornøyde, mens 37 % svarer at de er misfornøyd med inneklimate på Eidet omsorgssenter. Kommentarer som trekkes frem under det generelle inneklimate på omsorgssenteret er blant annet at det er ønskelig å lettere kunne regulere temperaturen, og at kontor og vaktrom generelt har redusert luftkvalitet og dårlig regulering av temperatur.

Tabell 9.10: Oversikt over påvirkningen fra forhold tilknyttet inneklima på effektiviteten til ansatte

Spørsmål	Positivt	Verken positivt eller negativt	Negativt
Hvordan påvirker temperaturen på Omsorgssenteret effektiviteten din?	6 %	69 %	25 %
Hvordan påvirker luftkvaliteten effektiviteten din?	6 %	63 %	31 %
Hvordan påvirker belysningsnivået effektiviteten din?	6 %	56 %	38 %
Hvordan påvirker inneklima på omsorgssenteret effektiviteten din?	7 %	73 %	20 %

I vurderingen av effektivitet og det generelle inneklima på sykehjemmet viser flere av deltakerne til negativ effektivitet grunnet dårlige lysforhold og dårlig luftkvalitet. For spørsmål om luftkvalitet er det særlig kontor og vaktrom som beskrives som rom med dårlig luftkvalitet. Figur 9.7 viser sammenhengen mellom tilstrekkelig belysning, påvirkningen fra luftkvalitet på effektiviteten og om deltakerne er plaget av mye vondt i hodet i løpet av arbeidsdagen. Figuren viser at det er en sterk korrelasjon mellom negativ påvirkning av luftkvalitet på effektiviteten og at deltakerne har vondt i hodet minst en gang i uken. Videre viser figuren at det er en moderat korrelasjon mellom deltakerne som mener at tilpassningen av belysningen er tilfredsstillende og lite plager med vondt i hodet i løpet av arbeidstiden.

		8.2 Er du plaget av mye vondt i hodet i løpet av arbeidstiden?				arbeid og sosiale aktiviteter?			
		Hver dag	3-4 ganger pr uke/ 1-2 ganger per uke	1-2 ganger per mnd	Sjeldnere/ Aldri	I stor grad	Tilfredsstillende	I liten grad	Nei
11.1 Er belysningen godt tilpasset behovene til både arbeid og sosiale aktiviteter?	I stor grad	-0,18	0,18	-0,12	0,04				
	Tilfredsstillende	-0,25	-0,32	-0,17	0,52				
	I liten grad	0,10	0,29	-0,20	-0,20				
	Nei	0,43	-0,18	0,68	-0,49				
13.2 Hvordan påvirker luftkvaliteten effektiviteten din?	Positivt	-0,10	-0,12	-0,07	0,20	0,54	-0,17	-0,20	-0,10
	Verken/eller	0,29	-0,62	-0,33	0,47	-0,29	0,52	-0,20	-0,10
	Negativt	-0,25	0,71	0,38	-0,59	0,02	-0,45	0,31	0,15

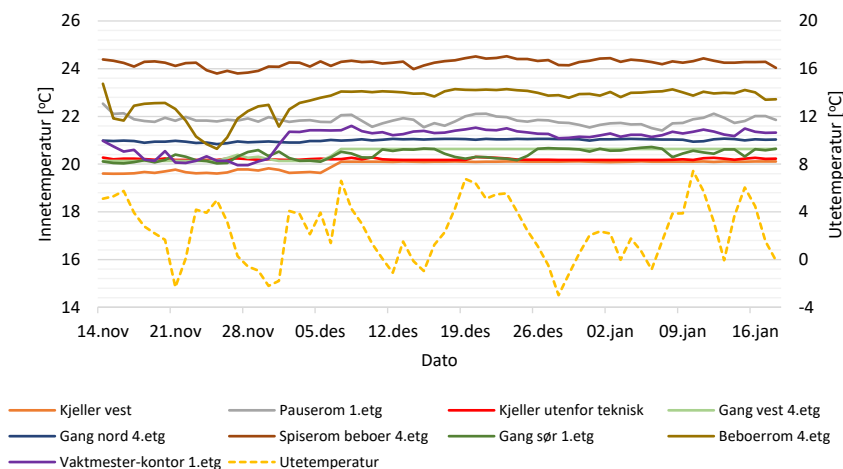
Figur 9.7: Korrelasjon tilknyttet belysning, luftkvalitet og vondt i hodet

9.4 Temperaturmålinger på Eidet omsorgssenter

Figur 9.8 viser en oversikt over de ni temperaturmålingene som ble gjennomført på Eidet omsorgssenter under befaringen. Ut fra grafen er det mulig å se at hvert av rommene på sykehjemmet stort sett har en stabil temperatur fra starten av desember til midten av januar. Figuren viser imidlertid at det for enkelte av rommene er store variasjoner i temperaturen i starten av måleperioden. Temperaturmålingene som ble gjennomført på et beboerrom i 4. etasje viser særlig store endringer der temperaturen i rommet varierer mellom 21 °C i slutten av november til 23 °C i starten av desember. Utetemperaturen for samme tidsrom, vist med gul stiplet linje i figuren, varierer mye over måleperioden med en endring i temperatur

mellom $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Den store variasjonen for målingene i starten av måleperioden kan skyldes at det gjennomføres en innregulering av anlegget, eller at det gjennomføres service på anlegget, som gjør at temperatuere stabiliserer seg fra starten av desember.

Videre viser målingene av temperatur på sykehjemmet stor forskjell mellom temperaturen i ulike rom. Resultatet fra målingene viser at beboerrommet og fellesrommet har en gjennomsnittlig temperatur på henholdsvis $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $24\text{ }^{\circ}\text{C}$, mens vaktmesterkontoret og pauserommet for ansatte ligger mellom $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ jevnt over for måleperioden.



Figur 9.8: Oversikt over temperaturmålinger gjennomført på Eidet omsorgssenter

9.5 Evaluering av generelle tiltakspakker

Resultater fra simulering av tiltakspakker for å redusere energi- og effektbruk for sykehjem vises i kapitlet. Først presenteres resultatene av energi- og effektbruk for de generelle tiltakspakkene. Videre listes resultatene fra simulering av tiltak for fornybar energiproduksjon, oppvarming og kjøling, med tilhørende evaluering av nåverdi, inneklimate og miljø. Oversikt over sammensetningen av tiltakspakker med forklaring er vist i Kapittel 2.3.1, mens spesifisering av tiltakspakkene finnes i Tabell B.1 til B.4 i Vedlegg B.

9.5.1 Sammenligning av energibruk og maksimal effekt

Figur 9.9 viser en oversikt over energibruk og maksimal effekt for de generelle tiltakspakkene som ble simulert for å undersøke påvirkningen av energi- og effektbruk fra bygningskonstruksjon, ventilasjon, belysning og solskjerming. I figuren vises maksimal effekt for

tiltakspakkene med oransje søyler med avlesning av verdi på y-aksen til venstre i grafen. Levert energi for tiltakspakkene er vist med blå søyler i diagrammet med avlesning av levert energi på y-aksen til høyre i diagrammet.

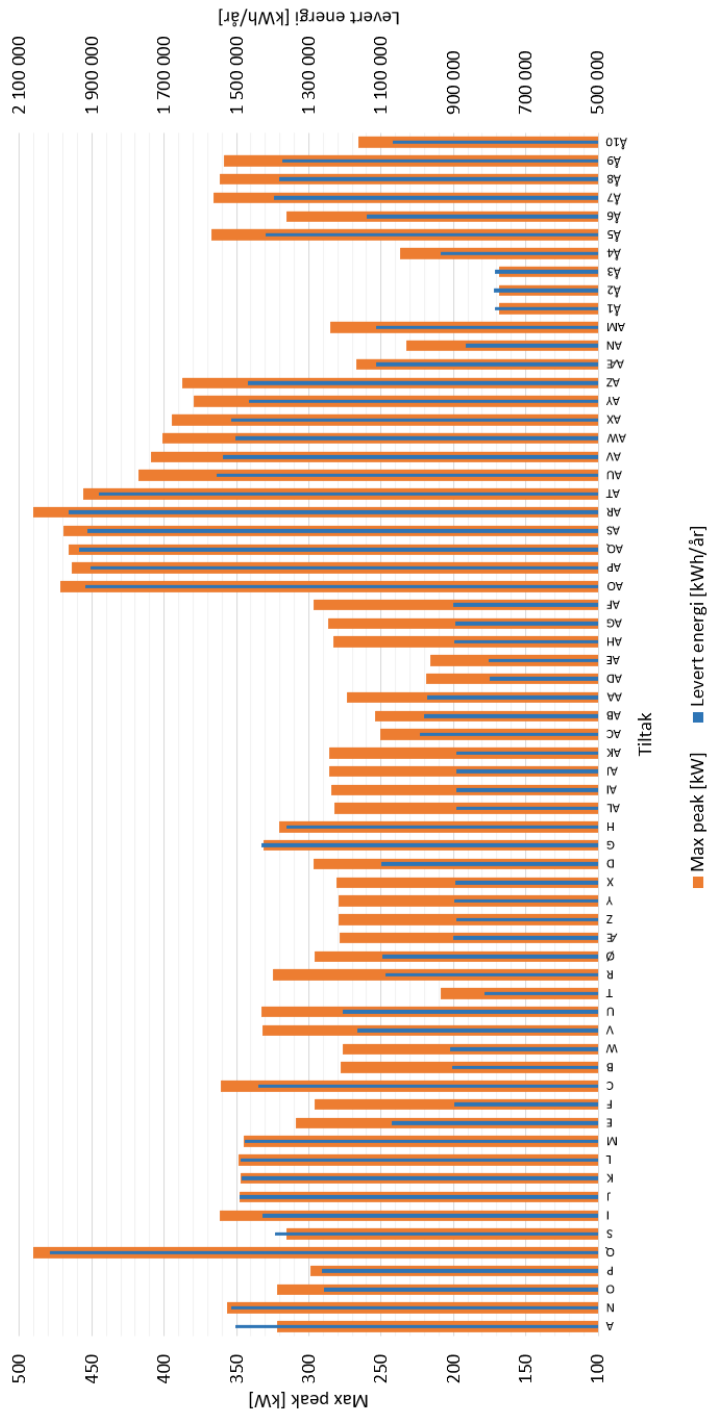
Resultatet fra simulering av generelle tiltakspakker viser store forskjeller i energibruk og maksimal effekt for tiltakspakkene. Ut fra Figur 9.9 vises det at tiltakspakke Q og AR har høyest levert energibruk og maksimal effekt av de simulerte tiltakspakkene. Tiltakspakke Q består av det laveste forbedringsnivået for samtlige tiltak, men har forbedringsnivå 2 for luftmengder i bygget. Tiltakspakke AR har det laveste forbedringsnivået for alle tiltak bortsett fra belysning, solskjerming og luftmengder.

Felles for tiltakspakkene med høyest energibruk og maksimal effekt er det laveste nivået av ventilasjonsløsning, som består av ventilasjon med VAV og nattsinking av temperaturen for fellesrom i tillegg til CAV for beboerrom, lav temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinneren, lavt forbedringsnivå for SFP og det høyeste nivået av luftmengder. Ut fra simuleringene ser det dermed ut som det er endringene på ventilasjonsanlegget som har den største påvirkningen på energibruk for bygningen. Der løsningene med lave forbedringsnivå for ventilasjon resulterer i en økning i energibruken i forhold til tiltakspakke A, som er utgangspunktet med det laveste forbedringsnivået for alle tiltakskategoriene. Effektiv styring og system for ventilasjon blir i litteraturstudiet i Kapittel 5.3.1 beskrevet som en løsning som vil kunne resultere i en stor besparelse av energibruk. I tillegg vises det i Kapittel 5.3.5 til at luftmengden vil ha en stor innvirkning på energibruken for bygningen. Til sammenligning vil også den største posten i energibudsjettet for Eidet omsorgssenter vist i Tabell 9.2 i Kapittel 9.2.1 være energibruk til drift av vifter i ventilasjonssystemet.

Tiltakspakkene med lavest energibruk og lavest maksimal effekt ut fra Figur 9.9 er tiltakspakkene Å1, Å2 og Å3, som består av det mellomste forbedringsnivået for alle tiltakene, men med varierende forbedringsnivå av solskjerming. Tiltak Å1 har en løsning med solskjerming i vindusglass, Å2 er simulert med utvendig solskjerming og Å3 er simulert med innvendig solskjerming. Andre tiltakspakker med lav energibruk og lav maksimal effekt er tiltakspakke T, AD og AE. Tiltakspakke T er simulert med det høyeste forbedringsnivået for tiltakene, men med laveste nivå av luftmengder. Tiltak AD og AE er simulert med høyeste forbedringsnivå for tiltak på belysning, solskjerming og ventilasjon, men med laveste verdi for luftmengder. I tillegg inneholder tiltakspakkene AD laveste forbedringsnivå av u-verdi for vinduer, kuldebroer og lekkasjetall, mens AE kun har laveste nivået for kuldebroer og lekkasjetall.

Felles for simulerte tiltakspakker med lavest energibruk og laveste verdier av maksimal effekt, er høyt eller middels forbedringsnivå for ventilasjonsløsning, varmegjenvinner, SFP og belysning. Dette underbygger antagelsen om at det for simulering av tiltakene er ventilasjon som har størst innvirkning på energibruken for tiltakspakkene.

Resultatene for tiltak som ble simulert med det laveste forbedringsnivået for bygningskroppen viser ikke like tydelige forskjeller i energibruken for tiltakspakkene. Fullstendig oversikt over simulerte verdier for vurdering av energi- og effektbruk finnes i Tabell J.1 til J.3 i Vedlegg J. I tillegg vises en oversikt over fargekoder for størrelsen av energi- og effektbruk i den totale matrisen i Figur J.1 og J.2 i Vedlegg J.



Figur 9.9: Oversikt over resultat av energi- og effektbruk for simulerte tiltakspakker

9.5.2 Sammenligning av inneklima

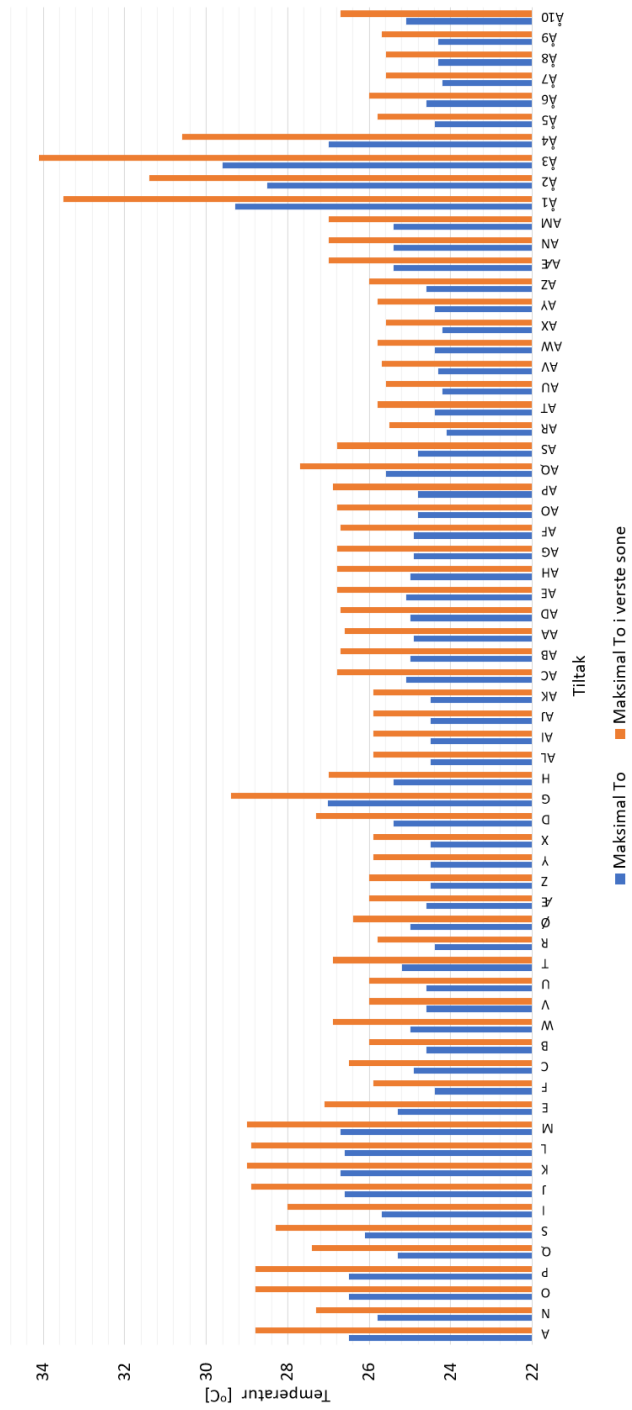
For å undersøke inneklima for de generelle tiltakspakkene er det tatt utgangspunkt i kriterier for inneklima beskrevet i Kapittel 4.4.2. Det er lagt mest vekt på å evaluere tiltakspakkene ut fra operativ temperatur til bruk i videre simuleringer ettersom resultatene fra vurdering av inneklima viste en stor variasjon i operativ temperatur for tiltakspakkene. Resultatet av inneklima for de simulerte tiltakspakkene, med verdier for blant annet CO₂-konsentrasjon, PPD og andelen timer med ubehag, er vist i sin helhet i Tabell J.4 til J.6 i Vedlegg J. I simuleringmodellen er det i tillegg lagt inn krav om en minste tillate belyningsstyrke på 200 lx, for alle de gjennomførte simuleringene, som tilfredsstillt kravet bestemt i Kapittel 4.5 for belyningsstyrke.

Figur 9.10 viser en oversikt over operativ temperaturen for de generelle tiltakspakkene som ble simulert. I figuren vises både gjennomsnittlig operativ temperatur for sonene i bygget per tiltakspakke, og operativ temperaturen for den varmeste sonen i bygget ved den simulerte tiltakspakken. Ut fra beregninger av operativ temperatur vist i Figur 9.10, viser simuleringene at det er tiltakspakkene med det mellomste forbedringsnivået for samtlige tiltak, beskrevet som tiltakspakke Å, som har den høyeste operativ temperaturen for sonene.

For tiltakspakkene Å1, Å2 og Å3 vil gjennomsnittsverdien til sonene for høyest operativ temperatur ha en temperatur på mellom 28,5 °C og 29,6 °C, som vil være over bestemt maksimal verdi for operativ temperatur beskrevet i Kapittel 4.5. I tillegg viser grafen at sonen i bygget med høyest operativ temperatur for tiltakspakkene Å1, Å2 og Å3 har en operativ temperatur på mellom 31 °C og 34 °C, som er betydelig høyere enn kravet til operativ temperatur fra Kapittel 4.5 på 27 °C. For ansatte ved sykehjemmet med en foretrukket operativ temperatur ut fra litteraturen i Kapittel 4.2.1 antatt å være mellom 18 °C og 20 °C, vil dette kunne føre til dårlig termisk komfort. Også for brukerne av sykehjemmet er det ut fra litteraturen i Kapittel 4.2.1 beskrevet at operativ temperaturen ikke bør være for høy, ettersom det vil føre til vanskeligheter med å kjøle ned kroppen. Felles for tiltakspakker med høy operativ temperatur i verste sone er laveste forbedringsnivå av skjerming, ventilasjonsløsning og luftmengder.

Grafen viser videre at resterende tiltakspakker har en stor variasjon i operativ temperatur for sonen med høyest temperatur, der verdiene varierer mellom 25,5 °C og 30,6 °C. Resultatene viser imidlertid at den gjennomsnittlige operativ temperaturen for sonene for resterende tiltakspakker har en verdi på 27 °C eller lavere, og dermed tilfredsstillt temperaturnivået valgt ut for å oppnå tilfredsstillende inneklima for sykehjem i Tabell 4.1 i Kapittel 4.5.

En oversikt over fargekoder for størrelsen av operativ temperaturen for ulike tiltakspakker er vist i Figur J.3 og J.4 i Vedlegg J.

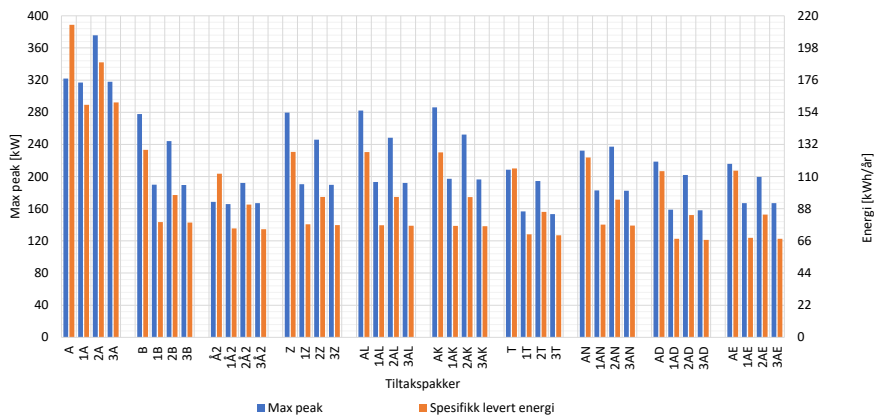


Figur 9.10: Oversikt over operativ temperatur for simulerte tiltakspakker

9.6 Evaluering av løsninger for oppvarming og kjøling

Det ble valgt ut 10 generelle tiltakspakker til videre simulering for å vurdere ytterligere potensial for besparelse av energi- og effektbruk for tiltakspakkene. Tiltakspakkene ble valgt ut blant de laveste verdiene av energibruk og maksimale effekt ut fra gjennomførte simuleringer. Blant utvalget ble også tiltakspakke A inkludert, som består av laveste forbedringsnivå for alle tiltakene, til bruk som referansemødel for besparelse. Tiltakspakkene ble deretter testet for tre ulike tiltakspakker med system for oppvarming, kjøling og fornybar energiproduksjon.

9.6.1 Vurdering av endelig energibruk og maksimal effekt



Figur 9.11: Totalt energibruk og maks effekt for evaluerte tiltakspakker

Figur 9.11 viser resultatet fra simuleringen av utvalgte generelle tiltakspakker med tiltak for oppvarming, kjøling og fornybar energiproduksjon. I grafen vises fire verdier for hver av de utvalgte tiltakspakkene, der tallene 1, 2 og 3 fremfor navnet på tiltakspakken viser til hvilken av de tre tiltakene for oppvarming og kjøling som er inkludert i tiltakspakken. Tiltakspakke 1 består av solceller til elektrisitetsproduksjon, i tillegg til grunnvarmepumpe. Videre består tiltakspakke 2 av en løsning med solceller, solfangere og fancoil, mens tiltakspakke 3 består av en kombinasjon av solceller, solfangere og grunnvarmepumpe. Tiltakspakke A består av laveste forbedringsnivå for alle de generelle simulerte tiltakene, og er valgt som referanseverdi for vurdering av forbedring av resterende tiltakspakker.

Løsningene for oppvarming og kjøling som resulterer i størst besparelse av energibruk og maks effekt er ut fra grafen i Figur 9.11 tiltakspakke 1 og 3, som resulterer i tilnærmet samme verdi av energibruk og maksimal effekt for de simulerte tiltakspakkene. Tiltakspakke 2 resulterte som vist i grafen i en høyere verdi for både energibruk og maksimal effekt for samtlige av tiltakspakkene. Verdiene for tiltakspakke 2 er imidlertid lavere enn

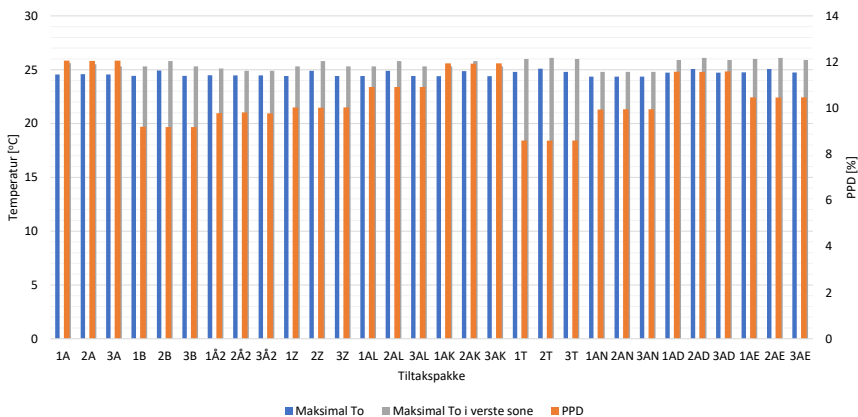
for tiltakspakkene uten system for oppvarming, kjøling og fornybar energiproduksjon, tiltakspakkene uten tall, som viser til den høyeste energibruken for alle tiltakspakkene.

Tiltakspakken med høyest spesifikke levert energi ut fra grafen er tiltakspakke A, som er tiltakspakken med lavest forbedringsnivå for alle tiltakene og som ikke har implementert oppvarming og kjøling. Verdien av energibruk og maksimal effekt resulterte for tiltakspakke A i en verdi på 213 kWh/m²år og 322 kW.

Grafen i Figur 9.11 viser videre at tiltakspakkene for oppvarming og kjøling har resultert i en besparelse av levert energi for samtlige av tiltakspakkene. Tiltakspakkene med lavest spesifikk levert energi er tiltakspakke 1AD, 3AD, 1T og 3T som resulterte i en besparelse på mellom 67 % og 69 % i forhold til tiltakspakke A. Tiltakspakkene resulterer i tillegg til en reduksjon av maksimal effekt i forhold til tiltakspakke A på mellom 51 % og 52 %.

Fullstendig oversikt over simulerte verdier av energibruk og maksimal effekt er listet i Tabell K.1 i Vedlegg K.

9.6.2 Vurdering av inneklima for tiltak med oppvarming og kjøling



Figur 9.12: Evaluerte parametre av inneklima for tiltakspakker med oppvarming og kjøling

Figur 9.12 viser en oversikt over resultat av maksimal og gjennomsnittlig operativ temperatur, i tillegg til størrelsen av PPD, fra simuleringene av tiltak med oppvarming og kjøling. Fra grafen i figuren vises en relativt konstant maksimal og gjennomsnittlig operativ temperatur for samtlige soner, med en verdi rundt 24 °C til 26 °C. Til sammenligning med simulering av de generelle tiltakspakkene der flere av tiltakspakkene hadde en maksimal operativ temperatur for sonene på over 28 °C, mens den gjennomsnittlige maksimale operative temperaturen for simulerte generelle tiltakspakkene resulterte i verdier mellom 24 °C og 29 °C. Tiltakspakkene for oppvarming og kjøling, ser dermed ut til å ha bidratt til å redusere operativ temperaturen for sonene i bygget betydelig til verdier som er innenfor

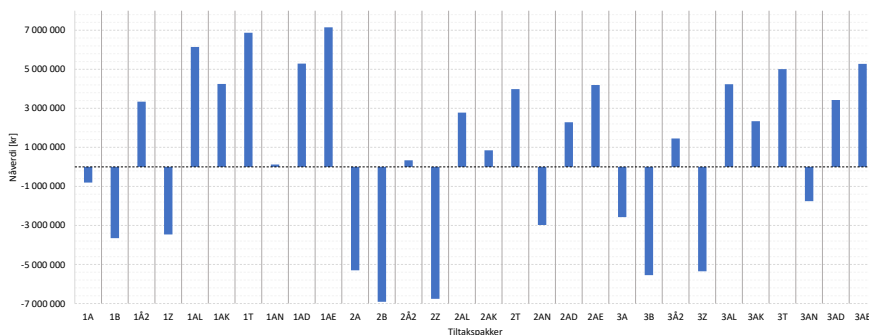
antatte krav for operativ temperatur bestemt i Kapittel 4.4.2 og litteratursøk om anbefalte verdier av temperaturer for brukerne av et omsorgssenter.

Verdien av PPD har imidlertid ut fra grafen en større variasjon for tiltakspakkene. I Kapittel 4.4.2 ble det bestemt en grense på 10 % PPD for å sikre et godt inneklima for sykehjem. Ut fra figuren vil det imidlertid være mange av tiltakene som resulterer i en verdi over 10 % PPD. Tiltakspakkene med lavest verdi av PPD er ut fra grafen tiltakspakke 1T, 2T og 3T med en PPD på 8,6 %, mens tiltakspakkene med høyest verdi av PPD er 1A, 2A og 3A som resulterer i en verdi på 12 % PPD. Figuren viser at størrelsen av PPD for tiltakspakkene vil være omtrent lik med alle de tre undersøkte pakkene av oppvarming og kjøling, der for eksempel tiltak 1AL, 2AL og 3AL alle har en PPD verdi på 10,9 %.

Ut fra beskrivelse av krav til PPD i Kapittel 4.2.2 vises det imidlertid til at kravet for PPD varierer ut fra standard, og for flere vurderinger settes høyere enn 10 % som er valgt som utgangspunkt for sammenligning av PPD i oppgaven.

Evaluering av CO₂-konsentrasjon, maksimal RF og andelen timer med ubehag i bygget resulterte i tilfredsstillende verdier for samtlige av tiltakspakkene med verdier mellom 490 ppm og 585 ppm, og verdier av RF mellom 57,2 % og 58,5 % for tiltakspakkene. Prosentandelen av timer med ubehag for sykehjemmet varierte mellom 6 % og 7 % for alle tiltakspakkene med oppvarming og kjøling. Fullstendig oversikt over evaluering av parametre for inneklima finnes i Tabell K.3 i Vedlegg K.

9.7 Kostnadsberegninger



Figur 9.13: Lønnsomhetsvurdering av ulike tiltakspakker

Figur 9.13 viser nåverdien for evaluerte tiltakspakker. Beregningen av lønnsomheten for tiltakene er beregnet med utgangspunkt i tiltakspakke A, som vil si at årlig besparelse og total investering av tiltakene er regnet med utgangspunkt i at tiltakspakke A allerede er

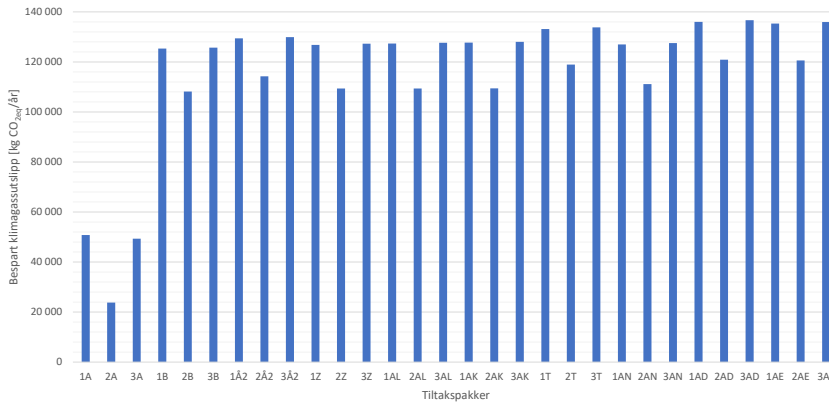
implementert i bygget. Videre er det regnet med en realrente på 5,5 % i beregningene, i tillegg til at alle tiltakene er regnet om til en levetid på 60 år. Ettersom drift og vedlikeholds kostnadene har vist seg å utgjøre en liten andel av den totale investeringen i beregningene av nåverdi, i tillegg til å være usikre og manglende verdier i oppgaven, er det valgt å ikke inkludere disse i beregningene av nåverdi for tiltakspakkene.

For at tiltakspakkene skal regnes som lønnsomme, må det oppnås en nåverdi større enn null. Figur 9.13 viser at flere av tiltakene vil være lønnsomme å implementere ut fra den årlige besparelsen tiltakene medfører. Den totale tiltakspakken med den høyeste nåverdien, og dermed den mest lønnsomme tiltakspakken fra gjennomførte simuleringer, er tiltakspakke 1AE med en nåverdi på 7,2 millioner kr. Tiltakspakken med dårligst lønnsomhet er ut fra figuren tiltakspakke 2B med en nåverdi på -6,9 millioner kr.

Grafen i Figur 9.13 viser at 11 av tiltakspakkene har en negativ nåverdi og vil dermed være ulønnsomme ut fra verdiene benyttet i beregningene. De laveste nåverdiene inkluderer systemet med implementering av tiltakspakke 2 bestående av solfanger for varmeproduksjon og solceller til produksjon av elektrisitet. Videre viser grafen at tiltakspakkene med høyest nåverdi er tiltakene med tiltakspakke 1 for oppvarming, kjøling og fornybar energi, som innebærer bruk av grunnvarmepumpe i kombinasjon med solceller for elektrisitetsproduksjon. I tillegg viser grafen at de generelle tiltakspakkene med størst lønnsomhet er tiltakspakke T og AE, som har de høyeste nåverdiene av tiltakspakkene for alle de tre ulike pakkene for oppvarming og kjøling. De generelle tiltakspakkene med dårligst lønnsomhet er ut fra figuren tiltakspakke B og Z, som består av forbedringsnivå 2 for samtlige generelle tiltak, men med forbedringsnivå 1 av kuldebroverdi for tiltakspakke Z. Dette kan vise til at disse pakkene vil være dyre alternativer, samtidig som den årlige besparelsen i energibruk ikke bidrar tilstrekkelig for inntjeningen av investeringen tiltakspakkene utgjør.

Resultater fra beregning av nåverdi er vist i Tabell K.4 i Vedlegg K, mens kostnader og verdier benyttet i beregningen av investeringskostnad for tiltakspakkene finnes i Tabell D.1 til D.7 i Vedlegg D.

9.8 Påvirkning på miljø



Figur 9.14: Besparelse av klimagassutslipp for simulerte tiltak

Grafen i Figur 9.14 viser den totale årlige besparelsen av klimagassutslipp fra bruksfasen for de simulerte tiltakspakkene. Besparelsen er beregnet ut fra en årlig reduksjon i energibruk sammenlignet med tiltakspakke A. Beregningene av klimagassutslipp tar kun utgangspunkt i beregninger av utslipp fra driftsfasen av bygget, og inkluderer dermed ikke utslipp tilknyttet materialer og implementering av tiltakspakkene.

Tiltakspakkene med den laveste besparelsen av årlige klimagassutslipp er ut fra Figur 9.14 tiltakspakke 1A, 2A og 3A med en besparelse på mellom 20 tonn CO_{2eq} og 50 tonn CO_{2eq} per år. Resterende tiltakspakker viser alle til en relativt stor besparelse av klimagassutslipp, med en årlig besparelse på mellom 108 tonn CO_{2eq} og 136 tonn CO_{2eq}. Grafen viser videre at den laveste besparelsen i klimagassutslipp forekommer ved bruk av tiltakspakke 2 med solfanger og solceller implementert. Tiltakspakke 1 og 3 vil ut fra simuleringene resultere i en relativt lik besparelse av årlige klimagassutslipp for samtlige av de generelle tiltakspakkene.

Verdier benyttet i beregningen av årlige besparelsen av utslipp fra klimagasser for tiltakspakkene er vist i Tabell K.5 i Vedlegg K.

9.9 Totalvurdering av tiltakspakker

Tiltakspakke	Totalt levert energi	Besparelse i levert energi	Max peak	Reduksjon av max peak	T _o	PPD	Nåverdi	Besparelse av CO _{2,eq}
	[kWh/år]	[kWh/år]	[kW]	[kW]	[°C]	[%]	[kr]	[Kg CO _{2,eq} /år]
1A	1 119 745,80	384 978,60	317,00	4,97	24,56	12,06	-805 062,60	50 817,18
1B	555 298,20	949 426,20	189,90	132,07	24,43	9,19	-3 651 407,71	125 324,26
1A2	524 331,00	980 393,40	165,71	156,26	24,48	9,78	3 340 554,00	129 411,93
1Z	544 037,40	960 687,00	190,58	131,39	24,42	10,03	-3 464 733,36	126 810,68
1AL	539 814,60	964 909,80	193,20	128,77	24,41	10,92	6 143 169,53	127 368,09
1AK	536 999,40	967 725,00	197,15	124,82	24,40	11,94	4 246 858,11	127 739,70
1T	496 179,00	1 008 545,40	156,65	165,32	24,80	8,60	6 871 872,64	133 127,99
1AN	542 629,80	962 094,60	182,79	139,18	24,36	9,94	119 540,94	126 996,49
1AD	474 361,20	1 030 363,20	158,84	163,13	24,73	11,58	5 290 574,20	136 007,94
1AE	479 287,80	1 025 436,60	167,05	154,92	24,75	10,47	7 151 884,17	135 357,63
2A	1 324 351,60	180 172,80	375,80	-53,83	24,58	12,05	-5 301 385,55	23 782,81
2B	685 501,20	819 223,20	244,17	77,80	24,92	9,18	-6 911 013,08	108 137,46
2A2	639 050,40	865 374,00	192,04	129,93	24,47	9,81	337 625,62	114 268,97
2Z	676 351,80	828 372,60	248,89	76,08	24,90	10,02	-6 759 240,17	109 345,18
2AK	676 351,80	828 372,60	248,89	76,08	24,89	10,92	2 778 559,83	109 345,18
2AL	675 648,00	829 076,40	252,26	69,71	24,87	11,93	647 246,98	109 438,08
2T	603 860,40	900 864,00	194,54	127,43	25,09	8,59	3 985 615,97	118 914,05
2AN	662 979,60	841 744,80	237,24	84,73	24,35	9,95	-2 976 724,38	111 110,31
2AD	589 080,60	915 643,80	202,05	119,92	25,06	11,57	2 287 646,06	120 864,98
2AE	591 192,00	913 532,40	199,66	122,31	25,07	10,46	4 195 624,62	120 586,28
3A	1 131 006,60	373 717,80	317,98	3,99	24,55	12,06	-2 575 736,95	49 330,75
3B	552 483,00	952 241,40	189,44	132,53	24,43	9,18	-5 548 863,44	125 695,86
3A2	520 812,00	983 912,40	166,96	155,01	24,47	9,77	1 454 765,18	129 876,44
3Z	540 518,40	964 206,00	189,81	132,16	24,42	10,03	-5 350 521,94	127 275,19
3AL	537 703,20	967 021,20	192,10	129,87	24,41	10,92	4 234 046,65	127 646,80
3AK	534 888,00	969 836,40	196,42	125,55	24,40	11,94	2 337 735,24	128 018,40
3T	491 252,40	1 013 472,00	153,37	168,60	24,79	8,60	5 009 418,35	133 778,30
3AN	538 407,00	966 317,40	182,33	139,64	24,35	9,95	-1 754 580,50	127 553,90
3AD	469 434,60	1 035 289,80	158,10	163,87	24,72	11,59	3 428 119,91	136 658,25
3AE	475 065,00	1 029 659,40	167,05	154,92	24,74	10,47	5 277 762,73	135 915,04

Figur 9.15: Totalevaluering av tiltakspakker

Figur 9.15 viser en oversikt over total evaluering av simulerte tiltakspakker ut fra energibruk, størrelsen av maksimal effekt, inneklimatestet, lønnsomhet og påvirkning på miljøet. I figuren er tiltakspakker med størst besparelse eller best effekt markert med grønt, der tiltakspakken med størst positiv påvirkning har sterkes grønnfarge. Tiltakspakker som er markert med oransje er tilsvarende tiltakspakkene med lavest besparelse for de utvalgte kriteriene, der den sterkeste fargen viser tiltakspakken med den dårligste årlige besparelsen. Videre vil tiltak markert med rødt symbolisere tiltak som ikke tilfredsstiller kravene for inneklimatestet bestemt i Kapittel 4.5.

Av tiltakspakkene som er simulert med ulik systemløsning for oppvarming og kjøling, i tillegg til fornybar energiproduksjon, er det tiltakspakkene med løsning nummer 2 for oppvarmings- og kjølesystem som generelt har de dårligste resultatene ut fra evaluering av samtlige kategorier. I tillegg vil tiltakspakkene sammensatt med generell tiltakspakke A resultere i dårligst verdi for kategoriene i evalueringen, der tiltakspakke 2A viser til dårligst eller nest dårligst resultat for alle kategoriene i sammenligningen.

Tiltakspakkene som ut fra resultatene viser seg å være best innen samtlige kategorier er AD, AE og T med løsning 1 og 3 av oppvarming, kjøling og fornybar energi, som inkluderer varmepumpe og solceller, i tillegg til solfanger for løsning 3.

Det ble i Kapittel 4.5 satt en maksimal verdi av PPD til 10 % for å tilfredsstille kravene til inneklimatestet for bygget. Ut fra denne verdien vil det imidlertid være mange av tiltakene som resulterer i en høyere PPD verdi enn kravet tilsier. I beregningene av PPD for IDA ICE inkluderes luft temperatur, overflate temperatur, luftfuktighet, lufthastighet, grad av bekleddning og aktivitetsnivå. Det vil imidlertid som beskrevet i Kapittel 4.2.2 settes ulikt

krav til PPD i standarden ut fra hvilke andre kriterier som settes for inneklima. Med et noe høyere krav til PPD for evalueringen ville dermed de fleste tiltakene vært innenfor kravet, ettersom Figur 9.15 viser at den høyeste verdien av PPD forekommer for tiltakspakke 1A og 3A med en verdi på 12,1 %.

Blant tiltakspakkene som tilfredsstillt kravene fastsatt for inneklima, vil det være tiltak 3T, 1T, 1Å2 og 3Å2 som gir best resultat evaluert ut fra inneklima, energibruk, maksimal effekt, klima og lønnsomhet. Alternativet med kombinasjon av generelle tiltak T viser til tiltakspakker med høyeste forbedringsnivå av alle parameterne, men med laveste verdi av luftmengder. Alternativene med kombinasjon av generelle tiltak Å2 viser til løsninger som inkluderer det mellomste nivået for alle kategoriene, men med det høyeste forbedringsnivået for solskjerming.

Kapittel 10

Diskusjon

10.1 Tilstandsanalyse

I kapittelet diskuteres faktorene som er inkludert i tilstandsanalysen av Eidet omsorgssenter. Resultatene fra sammenligning av energi- og effektbruk beregnet i IDA ICE, antatt verdi fra SIMIEN og målte verdier fra EMSweb og strømleverandør blir videre diskutert. Deretter evalueres resultatene fra temperaturmålingene som ble gjennomført i forbindelse med befaringen på Eidet, i tillegg til resultatene fra spørreundersøkelsen om innklima gjennomført blant ansatte ved sykehjemmet.

10.1.1 Simulering av energi- og effektbruk på Eidet omsorgssenter

Resultatene fra simulering av energi- og effektbruk i IDA ICE viser en relativt god sammenheng med målte verdi av levert energi fra strømleverandør og EMSweb. Til tross for en god tilpasning mellom det målte og simulerte forbruket, viser imidlertid resultatene at det for enkelte måneder er avvik i forhold til reelle verdier. Avvik mellom målt og simulert verdi forekommer blant annet i mars, april og november, der simulerte verdier viste en noe høyere levert energi og for desember med en lavere verdi enn den reelle målte levert energien. Denne forskjellen kan skyldes endringene i utetemperaturer som fører til at det ved lave utetemperaturer vil være et høyere forbruk for det reelle bygget, mens dette ikke vil vises i like stor grad for modellen. Videre er det for modellen simulert i IDA ICE tatt utgangspunkt i en kombinasjon av målte verdier og tall hentet fra standarder, i tillegg til tidsplaner og styring, som vil kunne føre til et noe høyere forbruk enn virkelige målinger viser. I tillegg kan det tenkes at det forekommer “barnesykdommer” for bygget, ved at første året med drift ikke representerer det virkelige forbruket for sykehjemmet og at det forekommer en innreguleringsfase for bygget.

En høyere levert energi for mars, april og november kan eventuelt komme av at modellen i IDA ICE dimensjonerer for et større oppvarmingsbehov enn hva som er reelt, samtidig som det tilsvarende vil kunne være tilfellet for desember der simuleringene fra IDA ICE viser til en lavere verdi. Forskjellen mellom kurvene over simulert og målt forbruk kan også skyldes at brukerne foretrekker en høyere temperatur inne over året enn hva som er utgangspunktet for beregningene.

Alternativt kan forskjellen mellom målt og simulert levert energi for enkelte måneder skyldes beregningen av fornybar energi fra IDA ICE, og at elektrisitetsproduksjonen i simuleringene resulterer i høyere eller lavere produksjon i forhold til reelle verdier for solcelleanlegget på omsorgssenteret. Forskjellen i produksjon fra solcellene kan forekomme ettersom solcellene på sykehjemmet vil påvirkes av klima i Haram kommune, mens modellen i simuleringene tar utgangspunkt i en klimafil for Vigra i Ålesund. For det virkelige klima vil solcellepanelene blant annet kunne påvirkes av snøforhold, nedbør, solinnstråling og temperatur. Modellen simulert i IDA ICE benytter klima for Ålesund Vigra, som vil være nærmeste lokasjon for simulering, men det vil likevel kunne forekomme avvik mellom klimaet for simuleringene og det virkelige klimaet på Eidet omsorgssenter.

Videre vil det være viktig å merke seg at simuleringsprogram som IDA ICE beregner verdier ut fra en modell av det virkelige bygget. Simuleringer i IDA ICE viser en detaljert modell som representerer bygget, men det virkelige bygget vil være mer detaljert enn hva som vil være mulig å implementere i modellen for sykehjemmet. Det vil i tillegg kunne forekomme feilkilder ved simuleringer i IDA ICE ut fra flere valgmuligheter og vanskeligheter med å bygge opp en helt identisk modell til virkeligheten.

Resultatet fra simuleringene viser imidlertid til en større forskjell mellom beregningene gjennomført i simuleringsprogrammene SIMIEN til forskjell fra målte verdier og beregninger i IDA ICE. Ut fra simuleringene i IDA ICE vises det til et over dobbelt så høyt behov for levert energi, sammenlignet med simuleringene gjennomført i SIMIEN. En høyere verdi simulert i IDA ICE, kan blant annet komme av at det i modellen tas utgangspunkt i reelle verdier og målinger for Eidet omsorgssenter, mens det for beregningene i SIMIEN er tatt utgangspunkt i standarder og antatte verdier fra konsulentselskapet.

I valg av varmegjenvinner for ventilasjon er det for SIMIEN-beregningene benyttet en virkningsgrad på 83 %, som ut fra litteraturstudie og målinger fra andre bygg har vist seg å være høyere enn hva som vanligvis oppnås i virkeligheten. Videre er det benyttet standardverdier til settpunkt for oppvarming på henholdsvis 21 °C og 19 °C i og utenfor driftstiden i modellen fra SIMIEN. Ut fra litteraturstudiet og temperaturmålinger gjennomført på sykehjemmet vises det imidlertid til at det for eldre vil være behov for en høyere settpunkttemperatur enn verdiene oppgitt i standarder og forskrifter, som vil kunne resultere i en lavere levert energi fra SIMIEN enn simuleringene i IDA ICE og målte verdier viser. I modellen i IDA ICE er det dermed tatt utgangspunkt i settpunkttemperaturer for beboerrom og fellesrom ved sykehjemmet på 23 °C. I beregningene i SIMIEN antas videre en lavere verdi for energibruk til tappevann enn hva som ut fra målinger viser seg å være reelt for sykehjemmet. En forskjell i energibruk til oppvarming av varmtvann vil også kunne forklare en lavere beregnet verdier for levert energi i SIMIEN til forskjell fra IDA ICE.

Videre vil SIMIEN være et enklere simuleringsverktøy med færre detaljer enn IDA ICE, noe som vil kunne føre til en forskjell mellom resultatene fra simuleringene. For IDA ICE vil det i tillegg kunne forekomme feilkilder ved for eksempel at detaljerte parametere settes til forhåndsinnstilte verdier, som ikke nødvendigvis representerer det virkelige bygget eller at detaljer utelukkes i simuleringen. Resultatet fra simuleringene gjennomført i SIMIEN sammenlignet med målte verdier for Eidet omsorgssenter viser til hvor stor variasjon det potensielt kan forekomme mellom beregninger og virkeligheten ved evaluering av energibruk for bygninger.

10.1.2 Vurdering av energieffektivitet for Eidet omsorgssenter

Ved sammenligning av simulerte tiltakspakkene med simulert verdi for Eidet omsorgssenter viser resultatene at sykehjemmet ligger noe høyere enn flertallet av simulerte tiltakspakkene. Simuleringer av Eidet omsorgssenter resulterte i en korrigert levert energi til bygget på 700 456 kWh/år, mens laveste verdi av levert energi for tiltakspakkene ble simulert til 469 435 kWh/år. En høyere verdi for levert energi for Eidet omsorgssenter kan komme av at det for sykehjemmet tas utgangspunkt i reelle målinger og verdier, mens det for tiltakspakkene er tatt utgangspunkt i standardverdier. Det er blant annet tatt utgangspunkt i høyere temperaturer for simuleringen av Eidet omsorgssenter, sammenlignet med simuleringene av tiltakspakkene i oppgaven. Simuleringene av Eidet omsorgssenter vil imidlertid være betydelig lavere enn tiltakspakken med den høyeste verdien av levert energi på 1 324 552 kWh/år. Ut fra evalueringen av tiltakspakker i oppgaven og verdier for andre sykehjem listet i Kapittel 9.2.4 viser resultatene at Eidet omsorgssenter har oppnådd god energieffektivitet.

10.1.3 Totalt forbruk og produksjon av elektrisitet

I spesifikasjonene for anlegget ble det opplyst at anlegget skulle produsere rundt 145 000 kWh/år, noe som ut fra målinger viser seg å være betydelig høyere enn den virkelige produksjonen på 102 720 kWh/år. Dette kan blant annet komme av at anlegget er montert med en annen vinkel enn hva det opprinnelig er dimensjonert for, at virkningsgraden er dårlig enn antatt eller at arealet er mindre enn utgangspunktet for dimensjoneringen. Eventuelt at solinnstrålingen for Eidet omsorgssenter har vært dårligere over det siste året. Eventuelt kan den reduserte produksjonen av elektrisitet fra solcellene skyldes påvirkninger fra klima og lokalt forhold for solcelleanlegget. Avviket mellom dimensjonert og virkelig produksjon utgjør imidlertid omtrent 30 %. Det store avviket vil dermed gjøre store utslag, og vil ha betydelig innflytelse på lønnsomheten av prosjektet.

10.1.4 Temperaturmålinger og spørreundersøkelse

Ut fra resultatene fra spørreundersøkelsen kommer det frem at flere av deltakerne ønsker større muligheter for å kunne regulere temperaturen for ulike rom på sykehjemmet. Videre viser resultatene at litt over halvparten av deltakerne mener at det er for varmt inne på

sykehjemmet om sommeren og at 31 % mener det er for kaldt om vinteren. Å legge til rette for individuell kontroll er vist ut fra litteraturstudie i kapittel 4.2.2 å være en fordel for et sykehjem, ettersom det vil forekomme store individuelle forskjeller mellom personer. Tilrettelegging for individuell kontroll bli videre i kapittelet beskrevet å være en fordel ettersom det for et sykehjem vil være stor forskjell mellom preferansene for ansatte og brukere, ut fra ulik grad av bekleddning og aktivitetsnivå.

Temperaturmålingene som ble gjennomført på Eidet omsorgssenter viste at temperaturene for desember og januar var relativt stabile for samtlige rom, med en variasjon i temperatur på maksimalt 0,5 °C til 1,0 °C for de individuelle rommene. Variasjonen for omsorgssenteret jevnt over for perioden er dermed lavere enn den anslåtte temperaturvariasjonen som vil føre til termisk ubehag ifølge litteraturstudie om termisk komfort i Kapittel 4.2.2 på 3 °C til 4 °C.

Målingene viser imidlertid at det var stor forskjell i temperatur mellom ulike rom i bygget. Rommene med høyest temperatur var ut fra målingene, beboerrom og fellesrom for beboerne med en temperatur på mellom 23 °C og 24 °C. De høye temperaturene kan samsvare med at ansatte mener det er enkelte områder i bygget med for høye temperatur. Temperaturnivåene for disse rommene vil også være høyere enn kravet til settpunkttemperatur satt i teknisk forskrift og standarder. Forskjellen i innstilt temperaturnivå for de ulike rommene, kan imidlertid stemme overens med litteratur i Kapittel 4.2.2 om at eldre gjerne ønsker en gjennomsnittlig høyere temperatur enn yngre. Temperaturen for pauserommet for ansatte viste imidlertid også å være relativt høy ut fra målingene med en temperatur på 22 °C, som vil kunne påvirke opplevelsen av temperatur generelt i spørreundersøkelsen blant de ansatte.

Temperaturmålingene som ble gjennomført på sykehjemmet viser en relativt stor variasjon for mange av målingene i starten av perioden før temperaturen stabiliserer seg i begynnelsen av desember. Variasjonen i starten av måleperioden er særlig stor for det undersøkte beboerrommet med en variasjon på rundt 2 °C over en periode på to uker. Endringen i temperatur kan komme av endringene i utetemperatur for samme periode, der perioder med høyere utetemperatur samsvarer med perioder med lavere temperatur på beboerrommet. På den andre siden vil det fortsatt være en variasjon i utetemperaturen selv om innetemperaturene stabiliserer seg i begynnelsen av desember. Variasjonen kan alternativt skyldes at det kan ha blitt gjennomført en innregulering av temperaturene for omsorgssenteret, ettersom temperaturene stabiliserer seg for samtlige rom i starten av desember.

Faktumet at spørreundersøkelsen bare hadde en svarprosent på 32 % vil være en begrensning for resultatene. Det vil ut fra lav svarprosent ikke være mulig å konkludere med tiltak og verdier for inneklimate på Eidet omsorgssenter, eller om inneklimate for Eidet omsorgssenter er bra eller dårlig. Det vil likevel være mulig å få en indikasjon på kvaliteten av inneklimate og vurdere inneklimate fra undersøkelsen opp mot resultat av temperaturmåling og undersøkelse av energi- og effektbruk for sykehjemmet. Videre vil det være en begrensning for resultatet at personer kan ha ulik oppfatning av hva inneklimate innebærer og hvordan de oppfatter inneklimate for sykehjemmet. Ut fra ulike forutsetning vil deltakerne dermed ha forskjellig oppfatning av hva som innebærer et godt eller dårlig inneklimate.

Det vil videre være en svakhet ved undersøkelsen at den kun er gjennomført på ansatte ved

sykehjemmet og at det ikke er innhentet informasjon om hvordan brukerne oppfatter inneklime. Ved å sammenligne svarene fra ansatte og brukere ville det være mulig å undersøke ulike preferanser av inneklime ut fra aktivitetsnivå og bekledding for å få et bedre bilde av oppfatningen av inneklime generelt på sykehjemmet. Det ville i tillegg vært mulig å undersøke resultatene opp mot litteraturen om at eldre ofte foretrekker en høyere innendørs temperatur enn yngre.

Innhentede resultater fra spørreundersøkelsen og målinger samsvarer imidlertid med litteraturstudie om termisk komfort der det vises til at ansatte gjerne ønsker en lavere temperatur og at aktivitetsnivå og bekledding påvirker oppfattelsen av et godt inneklime.

10.2 Varmtvann

Ut fra litteraturstudie om dimensjonering av varmtvannforbruk for bygninger, vises det til at det er vanskelig å oppnå en god dimensjonering av varmtvannsbehovet for bygninger. Det vises i tillegg til at det er lite kunnskap på området og at de fleste verdiene som finnes som utgangspunkt for dimensjonering er basert på innhentede erfaringstall.

Ut fra standarden NS3031 som dimensjonerer med et varmtvannforbruk på 30 kWh/m² for et sykehjem viser målinger og beregninger av varmtvannsforbruket for Eidet omsorgssenter et betydelig lavere forbruk med 21 kWh/m² for verdier hentet fra EMSweb. Anslaget som ble foreslått i litteraturstudiet om dimensjonering av varmtvann i Kapittel 3.1 på mellom 15 kWh/m² og 25 kWh/m² ser da ut til å stemme bedre for sykehjemmet, til tross for at dette anslaget inkluderer et stort intervall. Et lavere forbruk av varmtvann for sykehjem kan blant annet komme av forskjellige brukervaner for sykehjem, og at brukerne for eksempel ikke dusjer like ofte som brukere av en gjennomsnittlig bolighusholdning.

Beregningene for Eidet omsorgssenter i SIMIEN benytter et varmtvannforbruk på 13 kWh/m² som er betydelig lavere enn det faktiske målte forbruket og ligger også lavere enn det foreslåtte intervallet fra litteraturstudiet. Til sammenligning med verdier av erfaringstall fra OSO Hotwater AS er verdiene høyere enn det reelle forbruket for Eidet omsorgssenter med 70 beboere. Ut fra varierende inputverdier for dimensjonering av varmtvann, vil det være behov for økt kunnskap om bruk av tappevann for å hindre overdimensjonering, noe som særlig er viktig ut fra at energibruk til varmtvann utgjør en stor post i energibudsjettet for bygninger som sykehjem, hotell og boliger.

10.3 Sammenligning av tiltakspakker

I kapittelet diskuteres først valg av forbedringsnivå for simuleringer av generelle tiltakspakker. Deretter diskuteres valg av tiltakspakker til videre simulering og sammensetningen av tiltakspakker med oppvarming, kjøling og fornybar energiproduksjon. Tiltakspakker brukes i oppgaven for å vurdere ulike sammensetninger av tiltak, i tillegg til å undersøke hvilke tiltak som er best i kombinasjon.

10.3.1 Valg av forbedringsnivå for generelle tiltak

Det ble valgt forbedringsnivå for tiltakspakkene med utgangspunkt i standarder og verdier undersøkt i litteraturstudie, i tillegg til å velge enkelte ytternivåer av tiltakene for å få en indikasjon på hvilke tiltak som ville resultere i den største besparelsen. I løpet av arbeid med tiltakspakkene og oppgaven ble det imidlertid vurdert at ikke alle forbedringsnivåene for tiltakspakkene som er inkludert vil være like realistiske å implementere. Ut fra litteratur er det blant annet vist at en typisk virkningsgrad for en roterende varmegjenvinner vil ligge mellom 75 % og 80 %, samtidig som forbedringsnivå 2 i simuleringen av generelle tiltak for varmegjenvinner til ventilasjon er satt til å være 83 %. Den øvre verdien benyttet vil imidlertid vise potensiell besparelse ved et effektivt system for ventilasjon.

Ved å velge ut tre forbedringsnivå for hver av tiltaksparameterne vil det ikke nødvendigvis være mulig å finne den optimale løsningen for tiltakene. Det vil dermed være vanskelig å si konkret hvilken verdi av tiltakene som vil lønne seg å implementere for et sykehjem. Det vil imidlertid være mulig å undersøke hvilke tiltak som vil ha størst innvirkning på energi- og effektbruk og hvor stort potensial det er for besparelse med en spesifikk tiltaksparameter. Ved undersøkelse av flere forbedringsnivå ville det dermed vært mulig å undersøke effekten for å finne den optimale løsningen for hvert enkelt tiltak. Samtidig ville dette ha ført til en betydelig økning i antall mulig simuleringer og en tidkrevende evaluering av energi- og effektbesparelsen for tiltakene.

Luftmengdene for ulike forbedringsnivå ble valgt ut fra krav til luftmengder for standarden SN-TS3031 og passivhusstandarden, i tillegg til verdier gitt i teknisk forskrift. De utvalgte forbedringsnivåene viser imidlertid til en varierende luftmengde for simuleringene. I oppstillingen av forbedringsnivå vil i tillegg forbedringsnivå 2 representere den høyeste luftmengden, som potensielt vil kunne gi best luftkvalitet men som samtidig gjerne vil resultere i den høyeste energibruken av forbedringsnivåene. Dette vil kunne være litt misvisende ettersom det for andre tiltak er forbedringsnivå 2 som viser til verdien med potensielt størst besparelse for energibruk. Videre vil det mellomste nivået av luftmengder brukt i simuleringene, tiltak Å, være lavere enn kravet til teknisk forskrift i driftstiden. Luftmengdene tar imidlertid utgangspunkt i verdier hentet fra passivhusstandarden, som forutsetter andre bygningstekniske verdier enn hva som er minstekravet for teknisk forskrift.

Når det gjelder luftmengden for tiltakene og faktumet at det er den laveste luftmengden som gir den laveste energi- og effektbruken, vil det være nødvendig å undersøke om denne luftmengden er tilstrekkelig for å oppnå et godt inneklima for sykehjem. Luftmengden for forbedringsnivå 1 er minste tillatte luftmengde ut fra teknisk forskrift og bør dermed sikre tilfredsstillende luftkvalitet. Samtidig vil det for et omsorgssenter settes strengere krav til god luftkvalitet og et godt inneklima ettersom litteraturen beskrevet i Kapittel 4.3 viser til at eldre tilbringer store deler av dagen innendørs, i tillegg til å ha et noe redusert immunforsvar sammenlignet med yngre mennesker.

Forbedringsnivåene ble valgt ut fra et ønske om å undersøke varierende forbedringsnivå og ikke nødvendigvis konkrete tiltakspakker fra tilhørende forskrifter og standarder. Dette ble valgt for å kunne vurdere besparelsen av tiltakene på tvers av standarder og ikke bare

evaluere standardene opp mot hverandre. Det er for eksempel ikke tatt utgangspunkt i kombinasjon av alle tiltak som det stilles krav til ut fra passivhusstandarden for noen av pakkene. Det vil dermed ikke være mulig å koble forbedringen av tiltakspakkene opp mot en konkret standard for å undersøke hvilke ambisjonsnivå bygget har mulighet for å oppnå. Det vil imidlertid være effekten av tiltakene som undersøkes i oppgaven, og hvordan tiltakene best kan kombineres for å oppnå en stor besparelse for energibruk og maksimal effekt. Denne metoden ble valgt ettersom noen tiltak gir en stor besparelse og har et stort potensial hver for seg, men vil kunne fungere mot sin hensikt i en tiltakspakke eller ha mindre effekt i kombinasjon med andre tiltak.

10.3.2 Valg av tiltakspakker til videre simulering

I utvalget av generelle tiltakspakker til videre simulering ble det tatt utgangspunkt i tiltakspakkene med lavest energi- og effektbruk ut fra simulering av tiltakspakkene med generelle tiltak. Noen av tiltakene med lavest energi- og effektbruk resulterte i en veldig høy operativ temperatur, og viste seg å ikke tilfredsstillende kriteriene for inneklimatestet i Kapittel 4.5. Det ble likevel valgt å ta med tiltakene for å undersøke muligheten for å redusere temperaturene og forbedre inneklimatestet for tiltakspakkene ved bruk av et effektivt system for oppvarming og kjøling, ved bruk av fornybar energi.

I tillegg ble det valgt ut tiltakspakker som hadde en operativtemperatur som var innenfor grensene for termisk komfort for sykehjem, og som resulterte i et forholdsvis lavt energi- og effektbehov for bygget. Ved å velge disse tiltakspakkene til videre simulering var det ønskelig å undersøke om det var mulig å redusere energibruk og maksimal effekt for bygget ytterligere og vurdere potensialet for besparelse ved bruk av effektivt oppvarmings- og kjølesystem, uten å redusere kvaliteten av inneklimatestet for bygget.

10.3.3 Valg av tiltak for oppvarming, kjøling og fornybar energi

Kombinasjonen av tiltakspakkene for oppvarming, kjøling og fornybar energiproduksjon ble valgt ut fra potensial og muligheter for fornybar energiproduksjon, oppvarmings- og kjølesystem for sykehjem beskrevet i Kapittel 5.3.3 og Kapittel 5.3.4.

Videre ble det ut fra tidkrevende simuleringer valgt å begrense utvalget av tiltakspakker til tre tiltakspakker med løsninger av solfanger, grunnvarmepumpe, fancoil og solceller for å dekke behovet til oppvarming og kjøling. Andre tiltak som ble undersøkt for fornybar energi ble ikke inkludert i simuleringene, som kan ha ført til et litt redusert evalueringsgrunnlag for undersøkelsen av fornybar energi i oppgaven. Det ble imidlertid antatt at utvalgte teknologier ville kunne gi et representativt bilde av endringen av energi- og effektbruk for tiltakene, i tillegg til at utvalgte teknologier ble belyst i litteratursøk som tiltak med stort potensial til energibesparelse for sykehjem.

Det ble valgt å inkludere solceller for produksjon av elektrisitet for alle tiltakspakkene, for å potensielt kunne utnytte andelen av fornybar energi maksimalt ved at elektrisitet fra solcellene blir brukt til å dekke energibruk for varmepumpen og solfangersystemet. Ved at

solcellene er inkludert i alle pakkene vil det ikke være mulig å se potensialet fra solcellene alene, men det ble likevel valgt for å evaluere størst mulig besparelse for tiltakspakkene i undersøkelsen.

Ettersom det ble benyttet et anlegg med grunnvarmepumpe med mulighet for frikjøling for tiltakspakke 1 og 3, ble det valgt å inkludere en fancoil i systemet med solfanger og solceller i tiltakspakke 2 for å dekke kjølebehovet i bygget. En sammensetning av tiltakspakker med fornybar energi utelukkende basert på solenergi, vil imidlertid ikke skape et anlegg med god fleksibilitet ettersom produksjonen er størst om sommeren når energibehovet er lavest og tilsvarende vil det være en lav produksjon om vinteren. Det ble likevel valgt å undersøke løsningen for å sammenligne effekten med potensialet for grunnvarmepumpen i kombinasjon med solfangersystem.

Verdiene for dimensjonering av grunnvarmepumpen, solfangerne, fancoil og solceller tar utgangspunkt i verdier fra litteratursøk om fornybar energiproduksjon i Kapittel 5.3.4. Det vil imidlertid kunne være mulig at tiltakene ikke fungerer optimalt i kombinasjon eller at størrelsen av dimensjoneringen for pakkene ikke passer for et generelt sykehjem. Dimensjoneringen av anlegg for oppvarming og kjøling, i tillegg til fornybar energiproduksjon vil variere mye fra prosjekt til prosjekt, og det vil dermed være nødvendig å undersøke størrelsen og verdiene for systemet ut fra individuelle prosjekter for sikre best resultat og utnyttelse av systemet. En bestemt verdi for virkningsgrad, areal eller vinkel i dimensjoneringen av anlegg for varmeproduksjon med solfangeranlegg i oppgaven vil kunne resultere i en annen produksjon ved ulike lokasjoner. Sammensetningen og verdiene brukt i tiltakspakkene vil imidlertid likevel kunne være med på å undersøke hvilken type system som bidrar mest til reduksjon av energibruk og maksimal effekt.

10.3.4 Evaluering av inneklima

I vurderingen av inneklima er det tatt utgangspunkt i evaluering av parametere som temperatur, PPD og CO_2 -konsentrasjon ut fra beregninger gjennomført i IDA ICE. Ettersom programmet beregnet verdiene for inneklima, vil det være vanskeligere å vite nøyaktig hva som ligger bak beregningene og dermed være vanskeligere å evaluere kvaliteten av resultatene. Resultatene vil imidlertid gi en indikasjon på om tiltakene tilfredsstillende valgte verdier for utvalgte parametere for inneklima.

Ettersom det i modellen er tatt utgangspunkt i mange beregningssoner ble det bestemt å bruke den gjennomsnittlige verdien av inneklima for alle sonene sammenlagt. Ut fra denne metoden å vurdere parametere vil det ikke være mulig å skille ut om det er noen veldig høye eller lave verdier som drar opp eller ned gjennomsnittet, og det vil i tillegg kunne forekomme soner i bygget som ikke tilfredsstillende kravene satt til inneklima til tross for at bygget total tilfredsstillende kravene. Den gjennomsnittlige verdien vil imidlertid gi en helhetsvurdering for bygget og hvordan klimaet er inne på sykehjemmet. I tillegg vil det ved å inkludere verdien av operativ temperatur for den verste sonen i bygget være mulig å vurdere verdier og generelt inneklima knyttet til termisk komfort beregnet i IDA ICE mer nøyaktig. En svakhet i evalueringen vil dermed kunne være at den største og minste verdien for alle sonene ikke er inkludert i evalueringen av inneklima i oppgaven.

Evalueringen av inneklima vil i tillegg varierer ut fra valgte krav som settes til inneklima, og hva som er antatt at skal gi grunnlag for et godt inneklima ut fra litteratursøket i oppgaven. Det er ikke sikkert at valgte verdier vil føre til et tilfredsstillende innemiljø for ansatte og brukere. Valgte verdier vil imidlertid kunne gi en indikasjon på hvordan inneklima er i bygget, og hvordan ulike tiltakspakker påvirker inneklima. Ved å velge andre krav vil det potensielt kunne være andre tiltak som er mer eller mindre egnet for å redusere energi- og effektbruk i sykehjem evaluert i oppgaven.

10.3.5 Kostnadsberegninger

I beregninger av kostnad for oppgaven ble det tatt utgangspunkt i beregning av nåverdi for å sammenligne lønnsomheten av tiltakspakkene. Realrenten til bruk i beregningene vil være en variabel faktor, som kan være avgjørende for om tiltakspakker blir lønnsomme eller ikke. I beregningene ble det benyttet en realrente på 5,5 %. Bruk av en høyere realrente vil kunne føre til lavere lønnsomhet for tiltakspakkene, mens det tilsvarende vil resultere i en høyere lønnsomhet for tiltakspakkene med en lavere realrente.

Videre er det i beregningen av kostnad for besparelse av levert energi regnet med en kraftpris på 0,95 kr/kWh. Kraftprisen vil kunne variere over året og ut fra etterspørsel, og vil være en faktor som kan påvirke beregningen av nåverdien for tiltakene og dermed også lønnsomheten av tiltakspakkene.

Levetiden for tiltakspakkene i beregningen av kostnad ble regnet til 60 år, som var den høyeste levetiden blant de utvalgte tiltakene. Investeringen av andre tiltakspakker ble deretter justert for en tilsvarende levetid. Levetiden for tiltakene vil imidlertid være avhengig av ulike faktorer, som for eksempel kvaliteten av komponentene, påvirkning fra omgivelser og klima, i tillegg til hvordan systemet driftes og vedlikeholdes. Det vil dermed være vanskelig å fastslå nøyaktig hvor lang levetiden for tiltakene vil være, noe som skaper usikkerhet for beregningene av nåverdi. Dersom levetiden viser seg å være lavere vil lønnsomheten reduseres for tiltaket.

En annen faktor som vil ha innvirkning på kostnaden av tiltakspakkene er at det i oppgaven er valgt å utelukke kostnader for drift og vedlikehold av tiltakspakkene. Denne antagelsen ble gjort ettersom det viste seg å være vanskelig å finne konkrete verdier for drift og vedlikehold av tiltakene og at verdiene som ble funnet var usikre. I tillegg viste størrelsen av prisene som ble vurdert for drift og vedlikehold seg å være betydelig mindre enn andre kostnader i beregningen, og påvirkning av drift og vedlikehold på den totale investeringen ble dermed lav. Videre vil det alltid være drifts- og vedlikeholdskostnader for tiltak og komponenter, og forskjellen mellom disse vil dermed kunne være liten for de ulike alternativene.

Det ble videre valgt å utelukke muligheten for økonomisk støtte til implementering av tiltakspakkene. Ved å implementere ambisiøse prosjekter med fornybar energi og et høyt ambisjonsnivå vil det for enkelte tilfeller være mulig å oppnå støtte for prosjektet. Ved å inkludere støtte for tiltakene i investeringskostnaden ville det være mulig å oppnå en høyere lønnsomhet og lavere investering for tiltakspakkene. Det ble imidlertid valgt å utelukke

på bakgrunn av varierende støttegrunnlag, i tillegg til at målet med beregningene av kostnader var å anta et overslag og sammenligningsgrunn for lønnsomhet av tiltakspakkene.

Det er i oppgaven beregnet kostnad for individuelle tiltak hver for seg, og kostnadene er deretter summert opp for de totale tiltakspakkene. Dette vil føre til en betydelig høyere investering for tiltakspakkene enn hva som brukes av verdier i realiteten, ettersom kostnaden for tiltakene vil variere ut fra hvor mange og hvilken kombinasjon av tiltak som implementeres. Dette kan vises til ved for eksempel bygningstekniske tiltak, der det vil være billigere å redusere kuldebroer og tette bygningskroppen dersom det uansett skal etterisoleres og byttes vinduer. Det vil da være mulig å redusere tiden det tar å implementere tiltakene i tillegg til kostnadene for installasjonen av tiltakspakkene. Når det oppgis en totalpris for implementering av tiltakspakker fra entreprenører vil i tillegg prisen potensielt kunne bli betydelig lavere ettersom alle tiltakene da gjennomføres på samme tid og av samme entreprenør. Investeringen som er benyttet for tiltakspakkene vil dermed vise til en høyere prisantydning, og representerer et overslag av investeringen for tiltakspakkene. Antagelsen er imidlertid beregnet med samme utgangspunkt for alle tiltakspakkene, og vil dermed skape et likt grunnlag for sammenligning av tiltakspakkene ut fra beregningen av lønnsomheten.

10.3.6 Klimapåvirkning

Evalueringen av tiltakspakkenes påvirkning på miljøet tar utgangspunkt i beregning av besparelse fra driftsfasen av tiltakspakkene ut fra beregningsmetoden beskrevet for ZEB i Kapittel 3.5. I evalueringen beregnes besparelsen i levert energi ut fra tiltakspakke A. Det blir benyttet en CO_2 -faktor for omregningen av besparelsen av levert energi til besparelsen av klimagassutslipp på 132,00 g CO_{2eq} /kWh, som benyttes i beregninger av klimabudsjett for ZEB. Denne faktoren er en antatt faktor estimert for bruk i ZEB-beregninger, men CO_2 -faktoren vil i realiteten variere ut fra andelen fornybar energi i elektrisitetsmiksen som brukes. En norsk elektrisitetsmiks som inkluderer produksjon fra vannkraft ville for eksempel gi en lavere besparelse i utslipp, sammenlignet med en europeisk miks med utgangspunkt i elektrisitetsproduksjon fra fossile energikilder. Faktoren benyttet i oppgaven vil likevel gi en indikasjon på størrelsen av reduksjonen av klimagasser det er mulig å oppnå for bruksfasen av tiltakspakkene, og forholdet mellom besparelsen for ulike tiltakspakker.

Det er ikke inkludert beregninger av utslipp tilknyttet materialer og konstruksjon for tiltakspakkene, som ville gi et bedre bilde av det totale utslippet tilknyttet implementeringen av tiltakspakkene. Dette vil i midlertid være en omfattende og tidkrevende beregning, som inkluderer mange antagelser og parametere. Det ble dermed antatt at beregning av utslipp fra driftsfasen ville gi en tilstrekkelig indikasjon og sammenligningsgrunnlag av klimagassutslipp for ulike tiltakspakker i oppgaven.

10.4 Brukte metoder

I kapittelet diskuteres brukte metoder for litteratursøk, simulering og evaluering av tiltak, i tillegg til valg gjennomført i forbindelse med utvalgte metoder benyttet i oppgaven.

10.4.1 Litteraturstudie

I oppgaven tas det utgangspunkt i litteratursøk for boliger og sykehus, i kombinasjon med tilgjengelig litteratur for sykehjem, ettersom det har vist seg å være lite tilgjengelig litteratur på energieffektivisering for omsorgssenter. Det vil for et omsorgssenter være mulig å sammenligne tiltak for boliger ettersom omsorgssenteret fungerer som en bolig for mange brukere og innehar en del av de samme funksjonene som boliger. Samtidig vil det kunne fungerer som et sykehus ved at bygget inneholder pasientrom og tilleggsfunksjoner som blant annet medisinsk rom og større garderobeanlegg, som ikke vil være vanlig for boliger. I tillegg vil et omsorgssenter ha døgnkontinuerlig drift i likhet med sykehus, og verdier for styring og drift vil dermed kunne sammenlignes med tiltak for sykehus. Samtidig vil det for sykehus være strengere krav til teknisk anlegg og inneklima, enn hva som er tilfellet for omsorgssenter, ut fra blant annet en større smittefare i bygget. For å danne et godt bilde av funksjoner og parametere nødvendige for energieffektivisering, samtidig som et godt inneklima opprettholdes, ble det vurdert at en tilfredsstillende løsning ville være å bruke en kombinasjon av løsninger og verdier for boliger, sykehus og sykehjem der dette var mulig.

Litteraturstudiet var nødvendig for å få tilgang på tilstrekkelig informasjon om sykehjem og opparbeid seg et bilde av hvilke parametere og tiltak som var viktig å prioritere for oppgaven. I tillegg bidro litteraturstudiet til å vurdere hvilke tiltak som har vært brukt i boliger og sykehus, som også vil kunne ha potensiale for energieffektivisering for omsorgssenter. Ut fra litteraturstudiet har det dermed vært mulig å undersøke muligheter for omsorgssenter før simuleringene ble gjennomført for å utelukke enkelte tiltak som det ikke ville vært interessant å inkludere i evalueringen.

10.4.2 Fractional factorial designs

Metoden med bruk av fractional factorial designs som ble valgt for å undersøke mulige kombinasjoner av tiltakspakker resulterte i en betydelig reduksjon av tid og omfang for simulering, og gjorde det dermed mulig å undersøke og evaluere et representativt utvalg av tiltakspakker. Det vil likevel kunne forekomme andre tiltakspakker som kan være av interesse for undersøkelsen av energibruk og maksimal effekt for sykehjem som dermed ikke ble evaluert i oppgaven. Dette vil kunne være en begrensning, samtidig som simulering av alle mulige kombinasjoner av tiltakspakker ville vært en veldig tidkrevende prosess som ikke nødvendigvis hadde resulterte i andre resultater enn hva som ble beregnet for de utvalgte tiltakspakker.

10.4.3 Simulering og forenklinger i IDA ICE

Simuleringene i IDA ICE viste seg å være en tidkrevende prosess ettersom det ble tatt utgangspunkt i et stort og komplisert bygg som Eidet omsorgssenter. Det kunne dermed vært et alternativ å gjennomføre flere forenklinger på modellene av sykehjemmet, som å slå sammen vindusareal med lik orientering, eller redusere antall soner for bygget. Forenklinger ville kunne gjort det mulig å redusere beregningstiden for modellen, samtidig som det ville ha gitt en mindre detaljert vurdering av tiltakene. Forenkling av modellen for videre arbeid bør dermed vurderes opp mot ønsket detaljnivå for simuleringene.

Den nyeste versjonen av IDA ICE inneholder en funksjon som optimaliserer utvalgte parametere. For simulering av tiltak ville det da vært mulig å velge ut enkelte parametere som det er ønskelig å finne den optimale verdien for. Den optimale verdien for bygget vil i midlertid variere ut fra inputverdiene for bygget, og hadde dermed ikke nødvendigvis vært gjeldene for generelle sykehjem.

10.4.4 Inneklima og energieffektivisering

På et sykehjem vil det være personer med ulike preferanser, utfra at ansatte blant annet har andre forutsetninger og ønsker en brukerne på sykehjemmet. Det er dermed viktig å legge til rette for regulering og personlig styring av inneklima for ulike soner i bygget. Dette gjelder både faktorer som temperatur og luftkvalitet. Brukerne av et sykehjem sitte mye i ro og ønsker ofte en høyere temperatur for å oppnå termisk komfort, mens de ansatte har et høyere aktivitetsnivå og dermed ofte ønsker et lavere temperaturnivå. Dette vil kunne være en konflikt på et sykehjem. Belysning er et annet eksempel på en faktor for inneklima som vil være forskjellig fra ulike brukergrupper. Der brukere som er eldre ofte ønsker, og har behov for, et høyere belysningsnivå for å utføre ulike oppgaver og aktiviteter, mens de ansatte ofte vil føle at et høyere belysningsnivå vil virke blendende og ubehagelig. Tilpasning for individuelle forskjeller kan gjøres ved at det legges til rette for regulering av belysningen og bruk av plassbelysning for områder som krever et høyere belysningsnivå, og at det legges til rette for god planlegging og fokus på dimensjoneringen av anlegget slik at både allmenn- og plassbelysningen fungerer optimalt. Det er i midlertid viktig å tenke på besparelsen i energi, og at energibruken holdes til et minimum. Det kan være vanskelig å balansere energieffektivitet med forhold for å oppnå et godt inneklima, men for et sykehjem vil dette være spesielt viktig å fokusere på for å oppnå gode innendørs forhold både for brukerne og ansatte ved sykehjemmet.

Konklusjon

Energibruk til bygninger og systemer for oppvarming, kjøling og ventilasjon avhenger av ulike faktorer, der det vil være nødvendig å evaluere en besparelse i energibruk opp mot inneklimate, økonomi og klimapåvirkning for sykehjemmet. Dette kommer for eksempel frem i sammenligningen av energibruk og inneklimate, der det er viktig å påse at en reduksjon av energibruk ikke går på bekostning av et godt inneklimate for bygget.

For simulering av tiltak for å redusere energi- og effektbruk vil ulike parametere ha forskjellig påvirkning på energi- og effektbruken ut fra kombinasjonen med andre tiltak. I tillegg vil det ved undersøkelse av energieffektivisering være viktig å tenke på at besparelsen av flere tiltak ikke nødvendigvis tilsvarer summen av de individuelle tiltakene. Det er dermed viktig å vektlegge at tiltak som skal evalueres må vurderes sammen i tiltakspakker for å undersøke den virkelige besparelsen. Videre vil det være viktig å gjennomføre tiltakene i riktig rekkefølge for at ikke tiltakene skal påvirke hverandre negativt. Masteroppgaven har dermed tatt for seg simulering av forskjellige tiltak og kombinasjoner av tiltak for å undersøke hvilke tiltakspakker som har størst påvirkning og hvilke kombinasjoner av forbedringsnivå for tiltakene som bidrar til størst energibesparelse for omsorgssenter.

Det er et stort potensial for forbedring og behov for kunnskap rundt effektivisering av omsorgssenter, ettersom besparelsen varierer fra prosjekt og sammensetning av tiltak. I tillegg vil det være en økning i antall eldre i befolkningen, som skaper et større behov for å effektivisere denne typen bygg samtidig som et godt inneklimate opprettholdes.

Resultatet fra oppgaven har vist at det er et stort potensial for å redusere energibruk og maksimal effekt for sykehjem, i tillegg til energikostnadene for bygget, uten at reduksjonen går på bekostning av inneklimate for sykehjemmet. Simuleringer gjennomført i oppgaven viser at det vil være mulig å redusere energibruk og maksimal effekt for sykehjem ved implementering av generelle tiltak for bygningskroppen, i tillegg til et effektivt system for oppvarming og kjøling. Det vil videre være mulig å effektivisere og redusere den leverte energien til bygget ved egenproduksjon av fornybare energi. Litteraturstudie på tiltak for

å redusere energi- og effektbehov har i tillegg vist at det vil være et stort potensial for å redusere andelen av levert energi ytterligere ved å implementere tiltak for varme- og energilagring, som i tillegg vil kunne redusere energikostnadene for bygget ytterligere.

Simuleringene av tiltakene viser til at det ikke nødvendigvis er tiltakene med best forbedringsnivå innen alle kategorier som er den beste tiltakspakken totalt. Der flere av tiltakspakkene som resulterte i et lavt energibruk bestod av en kombinasjon av ulike forbedringsnivå for utvalgte tiltak. I evalueringen av tiltakspakker har simuleringer antydnet at faktorer knyttet til ventilasjonssystemet vil ha den største påvirkningen på energibruk og maksimal effekt for sykehjem. I tillegg til at en løsning med effektivt oppvarming- og kjølingssystem, og produksjon av fornybar energi, har potensial for reduksjon av levert energi til bygget.

Kapittel 12

Videre arbeid

For å evaluere det fullstendige potensialet for reduksjon av energi- og effektbruk for sykehjem vil det i videre arbeid med oppgaven være nødvendig å gjennomføre simuleringer av tiltak og kombinasjoner av tiltak for reduksjon av effekt undersøkt i oppgaven. Det vil videre være ønskelig å undersøke flere systemer for oppvarming, kjøling og fornybar energiproduksjon. For tiltak på effekt vil det spesielt være av interesse å vurdere ulike tiltak for lagring av varme og energi i bygningen, i tillegg til nytteverdien av lagringsformer, som ut fra litteratursøk i oppgaven er beskrevet som tiltak med stort potensial. Det vil også være interessant å undersøke potensialet for besparelse av energi- og effektbruk ved kunnskap og styring, som ut fra litteratursøk viser til en stor besparelse for sykehjem.

For oppgaven ville det videre vært interessant å gjennomføre en sensitivitetsanalyse for å vurdere hvor påvirkelig tiltakene er ut fra blant annet energibruk, maksimal effekt og kostnad. Det ville spesielt vært ønskelig å undersøke konsekvensene på tiltakspakkene ved dynamisk prising, som vil kunne påvirke potensialet for reduksjon av energi- og effektbruk for tiltakspakkene, i tillegg til hvilke tiltak som bør kombineres, størrelsen av tiltakene og viljen til å implementere tiltakspakker ut fra kostnadsberegninger.

Videre bør det vurderes å gjennomføre optimalisering for utvalgte tiltak for å finne mer konkrete verdier som resulterer i lavest energi- og effektbruk i kombinasjon av tiltakspakker. Det vil i vurderingene da samtidig være viktig å evaluere energi- og effektbruk opp mot et godt innklima, kostnadsberegninger og påvirkningen på miljøet. En funksjon for å optimalisere utvalgte parametere er inkludert i den nyeste versjonen av IDA ICE.

I vurderingen av tiltak for å redusere energi- og effektbruk for sykehjem bør det også gjennomføres beregninger og estimat av energibehov til varmtvann for å undersøke hvilke metoder og verdier som bør benyttes i dimensjonering av varmtvannsbehov for sykehjem. I tillegg bør nytteverdien av ulike former for lagring vurderes for varmtvannsbehovet. SINTEF har imidlertid opprettet et prosjekt i samarbeid med NTNU, byggeiere og

leverandører kalt VarmtVann2030 med mål om å øke kunnskapen til bruk av varmtvann for boliger, sykehjem og hotell.

I arbeidet med oppgaven på Eidet omsorgssenter har det vist seg å være en stor forskjell mellom dimensjonert og virkelig elektrisitetsproduksjon fra solcelleanlegget for sykehjemmet. Det store avviket for elektrisitetsproduksjon bør undersøkes i videre arbeid med oppgaven.

Bibliografi

- [1] Ann Christin Bøeng and Magne Holstad. Fakta om energi : utviklingen i energibruk i norge, 2013.
- [2] Mohamed Hamdy, Ala Hasan, and Kai Siren. A multi-stage optimization method for cost-optimal and nearly-zero-energy building solutions in line with the epbd-recast 2010. *Energy and Buildings*, 56:189–203, 2013.
- [3] Dionysia Kolokotsa and Tsoutsos et. al theocharis. Energy conservation techniques for hospital buildings. *Advances in Building Energy Research*, 6(1):159–172, Mai 2012.
- [4] Tanja Winter and Kjell Gurigard. Energy performansce contracting (epc): a sutiable mechanism for achieving energy saving in housing cooperatives? results from a norwegian pilot project. *Energy efficiency*, 10(3):577–596, Juni 2017.
- [5] Claude Roulet. Indoor air quality and energy performance of buildings. *Proceedings of healthy buildings 2006*, 1:37–47, 2006.
- [6] Cathrine Åsegg Hagen and Guro Grøtterud. Ny teknologi og forbrukerfleksibilitet. <https://www.nve.no/elmarkedstilsynet-marked-og-monopol/sluttbrukermarkedet/ny-teknologi-og-forbrukerfleksibilitet/>, Mai 2017.
- [7] Arne Venjum and Guro Grøtterud. Ams. <https://www.nve.no/elmarkedstilsynet-marked-og-monopol/sluttbrukermarkedet/ams/>, Mai 2017.
- [8] Peter D. Lund and Juuso Lindgren et. al. Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45:785 – 807, 2015.
- [9] Yongjun Sun and Shengwei et. al Wang. Peak load shifting control using different cold thermal energy storage facilities in commercial buildings: a review. *Energy conversion and management*, 71:101–114, 2013.
- [10] Enova. Om enova. <https://www.enova.no/om-enova/>, 2017.

- [11] Morten Olsen Kvitnes. Etterprøving av løsninger for energiforsyning og innneklima i utvalgte forbildeprosjekter. Master's thesis, Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet, 2015.
- [12] FDVhuset. *Famacweb*, 2017.
- [13] Tafjord kraft. Energiarena - bedrifter kan spare store beløp. <https://www.tafjord.no/stroem/bedrift/tafjord-energiarena/bedrifter-kan-spare-store-beloeop/>, 2017. Accessed: 19.12.2017.
- [14] L. Schellen and W. Van Marken et. al Lichtenbelt. Differences between young adults and elderly in thermal comfort, productivity, and thermal physiology in response to a moderate temperature drift and a steady-state condition. *Indoor air*, 20(4):273–283, April 2010.
- [15] van J. Hoff and Jan L.M. Hensen. Thermal comfort and older adults. *Gerontechnology*, 4(4):223–228, 2006.
- [16] Agis M. Papadopoulos. Energy efficiency in hospitals: Historical development, trends and perspectives. *Energy Performance of Buildings*, pages 217–233, 2015.
- [17] Liv Irene Vatnestrøm Svendsen. Teknologi og driftsmoduser for å redusere energi- og effektbruk i omsorgssenter, Desember 2017.
- [18] iButtonLink Technology. Ds1922l-f5 thermochron. <https://www.ibuttonlink.com/products/ds1922l>, 2018. Accessed: 03.06.2018.
- [19] Norges astma-og allergiforbund. Ørebromodellen. <http://www.inneklima.com/index>, 2018. Accessed: 19.03.2018.
- [20] NIST sematech. Fractional factorial designs. <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section3/pri334.htm>, 2018. Accessed: 03.05.2018.
- [21] NIST sematech. Fractional factorial designs (5.3.3.4.1). <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section3/pri3341.htm>, 2018. Accessed: 03.05.2018.
- [22] Standard Norge. Beregning av bygningers energiytelse - metode og data. Norsk Standard NS3031:2014, Standard Norge, September 2016.
- [23] Arnkell J. Petersen and Søren Gedsø. Notat: Tappevannsbehov. Oppgitt via mailkorresponanse med forfatter, 2018.
- [24] Standard Norge. Bygningers energiytelse, beregning av energibehov og energiforsyning. Norsk standard SN/TS 3031, Standard Norge, 2016.
- [25] Linda P. Haugerud and Ingvild R. et. al Lien. Studie på energibruk i bygg med fjernvarmetilknytning. *Norsk Energi*, September 2011.
- [26] OSO Hotwater AS. Industrieredere og tilleggsutstyr. https://issuu.com/osohotwater/docs/so_hootwater_-_brosjyre_-_industrip, 2014. Accessed: 04.06.2018.

- [27] Linda Pedersen. *Load modelling of buildings in mixed energy distribution systems*. PhD thesis, NTNU, August 2007.
- [28] SINTEF. Om varmtvann2030. <https://www.sintef.no/projectweb/varmtvann/>, 2018. Accessed: 02.06.2018.
- [29] Trine Dyrstad Pettersen. 701.266 energisparende tiltak i boliger. Kvalitetsnorm 701.266, SINTEF Byggforsk, 2004.
- [30] Bjørn-Roar Krog. Energieffektive og vannbesparende sanitærinstallasjoner. Kvalitetsnorm 553.163, SINTEF Byggforsk, 2015.
- [31] Kathrine Frey Frøslie. Korrelasjon. <https://snl.no/korrelasjon>, Mars 2018.
- [32] Mavuto M Mukaka. A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. *Malawi Medical Journal*, 24(3):69–71, 2012.
- [33] Direktoratet for byggkvalitet. Byggteknisk forskrift (tek17). Teknisk forskrift TEK17, Direktoratet for byggkvalitet, §13-4 Termisk inneklima, 2017.
- [34] Standard Norge. Kriterier for passivhus og lavenergibygninger yrkesbygninger. Norsk standard NS3701, Standard Norge, 2012.
- [35] Tore Kvande. 451.021 klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring. Kvalitetsnorm 451.021, SINTEF Byggforsk, 2012.
- [36] Vojislav Novakovic and Sten Olaf et. al Hanssen. *Energy management in buildings*. Forlag AS, Oslo, 2007.
- [37] Enova. Felles verktøy revidert med tek10. Epost kommunikasjon med Monica Berner, Mars 2018.
- [38] Norconsult Informasjonssystemer AS and AS Bygganalyse. Norsk prisbok. <https://www.norskprisbok.no/>, 2018. Accessed: 29.05.2018.
- [39] Maria Sidelnikova and David Edward et. al Weir. Kostnader i energisektoren. kraft, varme og effektivisering. Rapport 2, Norges vassdrags- og energidirektorat, 2015.
- [40] Liv Bjørhovde Rindal and Fritjof Salvesen. Solenergi for varmeformål - snart lønnsomt? Oppdragsrapport A 10, Norges vassdrags- og energidirektorat, 2008.
- [41] Multiconsult. Kostnadsstudie, solkraft i norge 2013. Rapport 1, Enova SF, 2013.
- [42] Norsk solenergiforening. Om solenergi - støtteordninger. <https://www.solenergi.no/sttteordninger/>, 2018. Accessed: 27.05.2018.
- [43] Norges Vassdrag og energidirektorat (NVE). Plusskunder. <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten-for-energi-rme-marked-og-monopol/nettjenester/nettleie/tariffer-for-produksjon/plusskunder/>, 2018. Accessed: 01.06.2018.

- [44] Thema consulting group. Forbrukstilpasninger hos store kunder med timesmåling. Konsulentrapport utarbeidet for NVE 3, Norges Vassdrags- og energidirektorat (NVE), Desember 2015.
- [45] Ran Li and Zhimin et. al Wang. A novel time-of-use tariff design based on gaussian mixture model. *Applied energy*, 162:1530–1536, 2016.
- [46] Frode Frydenlund and Natasa et. al Djuric. Survey of available technologies for renewable energy supply to buildings. Teknisk rapport, The Research Centre on Zero Emission Buildings, Desember 2010.
- [47] Selamawit M. Fufa and Reidun D. et. al Schlanusch. A norwegian zeb definition guideline. ZEB Project report 29, The Research Centre on Zero Emission Buildings, Desember 2016.
- [48] Jon Christophersen. 343.307 sykehjem. Kvalitetsnorm 343.307, SINTEF Byggforsk, 1996.
- [49] Sturla Ingebrigtsen. *Ventilasjonsteknikk Del 1*, volume 4. Skarland Press AS, VVS-foreningen, Januar 2017.
- [50] Per-Erik Nilsson. *Achieving the desired indoor climate*. Studentlitteratur, 2003.
- [51] George Havenith. Temperature regulation and technology. *Gerontechnology*, 1(1):41–49, 2001.
- [52] K. Tsuzuki and T. Iwata. Thermal comfort and thermoregulation for elderly people taking light exercise. *Proceedings of Indoor Air*, 4:647–652, 2002.
- [53] Gordon Walker and Sam et. al Brown. Thermal comfort in care homes: vulnerability, responsibility and thermal care. *Building Research & Information*, 44(2):135–146, Januar 2015.
- [54] Ahmet Teke and Oğuzhan Timur. Assessing the energy efficiency improvement potentials of hvac systems considering economic and environmental aspects at the hospitals. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33:224–235, 2014.
- [55] Jamal Khodakarami and Nazanin Nasrollahi. Thermal comfort in hospitals—a literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6):4071–4077, 2012.
- [56] Arbeidstilsynet. Veiledning om klima og luftkvalitet på arbeidsplassen. Veiledning 444, Arbeidstilsynet, Mai 2006.
- [57] J. Van Hoof. Forty years of fanger’s model of thermal comfort: comfort for all? *Indoor air*, 18(3):182–201, Juni 2008.
- [58] Standard Norge. Inneklimaparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk. Norsk standard NS-EN 15251, Standard Norge, 2014.

-
- [59] Ana et. al. Mendes. Indoor air quality and thermal comfort - results of a pilot study in elderly care centers in portugal. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 76(4-5):333–344, 2013.
- [60] Malek Bentayeb and Dan et. al Norback. Indoor air quality, ventilation and respiratory health in elderly residents living in nursing homes in europe. *European Respiratory Journal*, pages ERJ–00824, 2015.
- [61] Johan Øvrevik and Rune et. al Becher. Fukt og fuktskader i norske boliger. 2016.
- [62] Pål Lyngstad. Utdyping av veiledningen for tek17. Epost kommunikasjon med Pål Lyngstad i Direktoratet for byggkvalitet, Desember 2017.
- [63] K.J Chua and S.K. et. al Chou. Achieving better energy-efficient air conditioning - a review of technoloiges and strategies. *Applied Energy*, 104:87–104, April 2013.
- [64] Eilif Hugo Hansen. 360.301 belysning i boligen. Kvalitetsnorm 360.301, SINTEF Byggforsk, 1999.
- [65] Folkehelseinstituttet. Belysning og lysforhold inne. <https://www.fhi.no/ml/miljo/inneklima/arsaker/belysning-og-lysforhold-inne/>, 2013. Accessed: 22.02.2018.
- [66] Odd Arnesen and Eirik et al. Bjelland. Energieffektiv belysning i yrkesbygg. Veiledning for belysning, Enova SF, 2008.
- [67] J Van Hoof and HSM et. al Kort. The indoor environment and the integrated design of homes for older people with dementia. *Building and Environment*, 45(5):1244–1261, 2010.
- [68] Hans-Henrik Bjørset and Eilif Hugo Hansen. *Lysteknikk*. Classica forlag AS, 2006.
- [69] Marianne M Sinoo and Joost et. al van Hoof. Light conditions for older adults in the nursing home: Assessment of environmental illuminances and colour temperature. *Building and Environment*, 46(10):1917–1927, 2011.
- [70] Standard Norge. Lys og belysning. belysning av arbeidsplasser, del 1: Innendørs arbeidsplasser. Norsk standard NS-EN 12464, Standard Norge, 2011.
- [71] Brett C Singer and William F Tschudi. High performance healthcare buildings: a roadmap to improved energy efficiency. Technical report, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA (US), 2009.
- [72] Enova. Potensial- og barrierestudie, energieffektivisering i norske bygg. *Enova rapport*, 1, 2012.
- [73] Benedicte Langseth. Analyse av energibruk i yrkesbygg. Technical report, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), Februar 2016.
- [74] Enova SF. Markedsutviklingen 2017. *Enova SF Rapport*, November 2017.
- [75] FutureBuilt. Om oss - hva er futurebuilt? <https://www.futurebuilt.no/Om-oss>, 2017. Accessed: 18.12.2017.
-

- [76] FutureBuilt. Økern sykehjem. Brosjyre, 2014. Accessed: 18.12.2017.
- [77] Annamaria et. al Buonomano. Dynamic energy performance analysis: Case study for energy efficiency retrofits of hospital buildings. *Energy*, 78:555–572, 2014.
- [78] D. Vanhoudt and J. et. al Desmedt. An aquifer thermal storage system in a belgian hospital: Long-term experimental ecaluation of energy and cost savings. *Energy and Buildings*, 43(12):3657–3665, Desember 2011.
- [79] Eva Rosenberg and Kari Aamodt et. al Espegren. Energieffektivisering i bygnigner - norske potensialstudier. Technical report, Institutt for energiteknikk, September 2013.
- [80] Mohamed Hamdy and Ala et. al Hasan. A multi-stage optimization method for cost-optimal and nearly-zero-energy building solutions in line with the epbd-recast 2010. *Energy and Buildings*, 56:189–203, 2013.
- [81] Suresh B Sadineni and Srikanth et. al Madala. Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8):3617–3631, 2011.
- [82] Fabrizio Ascione and Nicola et. al Bianco. Rehabilitation of the building envelope of hospitals: Achievable energy savings and microclimatic control on varying the hvac systems in mediterranean climates. *Energy and Buildings*, 60:125–138, 2013.
- [83] Lene Frosthammer and Helene Slagstad. Lavenergiboliger og passivhus. *Plan*, pages 12–15, 2007.
- [84] Trond Ivar Bøhn and Trond et. al Uliriksen. Energiattestens tiltaksliste - veiledning for boligrådgivere. Technical report, Enova SF, August 2006.
- [85] Karen Byskov Lindberg and Ingrid H. Magnussen. Tiltak og virkemidler for redusert utslipp av klimagasser fra norske bygninger. Sektor rapport for bygg i Klimakur 2020 4, Norges vassdrags- og energidirektorat, 2010.
- [86] Jørn Stene. 552.403 varmpumper i bygninger. funksjonsbeskrivelse. Kvalitetsnorm 552.403, SINTEF Byggforsk, 2009.
- [87] Laurent Georges and Catherine et. al Massart. Environmental and economic performance of heating systems for energy-efficient dwellings: Case of passive and low-energy single-family houses. *Energy policy*, 40:452–464, 2012.
- [88] Stuart J. Self and Bale V. Reddy et. al. Geothermal heat pump systems: Status review and comparison with other heating options. *Applied Energy*, 101:341 – 348, 2013. Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems.
- [89] Umair Iqbal. Kan sesonglagring av varme med solfangere dekke oppvarmingsbehov i norske boliger? Master's thesis, Norwegian University of Life Sciences, Ås, 2016.
- [90] Stephen P Kavanaugh. Geothermal heating and cooling : design of ground-source heat pump systems, 2014.

-
- [91] Ingeborg Simonsen. 552.455 vannbaserte solfangere. funksjon og energiutbytte. Kvalitetsnorm 552.455, SINTEF Byggforsk, 2011.
- [92] Vladimir Agafonkin. Suncalc. <http://suncalc.net/62.5443,6.5906,15/2018.05.21/23:21>, 2018. Accessed: 12.05.2018.
- [93] Joint Research Centre European Commission. Photovoltaic geographical information system (pvgis)- interactive maps. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>, 2018. Accessed: 12.05.2018.
- [94] Magnus Kolberg Eriksen. Klimatisering av omsorgsboliger. Master's thesis, NTNU, 2014.
- [95] Mads Mysen. 552.335 prosjektering av energieffektive ventilasjonsanlegg. Kvalitetsnorm 552.335, SINTEF Byggforsk, 2000.
- [96] Peter G. Schild and Trygve Hestad. 552.340 varmegjenvinnere i ventilasjonsanlegg. Kvalitetsnorm 552.340, SINTEF Byggforsk, 2002.
- [97] A Mardiana-Idayu and SB Riffat. Review on heat recovery technologies for building applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2):1241–1255, 2012.
- [98] Lavenergiprogrammet. Typiske ventilasjonsløsninger i næringsbygg. <http://lavenergiprogrammet.no/prosjektering-av-passivhus/typiske-ventilasjonslosninger-i-naeringsbygg/>, 2016. Accessed: 28.04.2018.
- [99] Direktoratet for byggkvalitet. Energieffektiv belysning. <http://lavenergiprogrammet.no/artikkel/energieffektiv-belysning/>, 2015. Accessed: 12.04.2018.
- [100] SF Armaturen AS. *Passion for lighting*. SG Armaturen AS, 2017.
- [101] Ida Bryn and Axel et. al Bjørnulf. Glass i fasader - solskjerming. Veiledning, Erichsen & Horgen og Glass og Fasadeforeningen, 2014.
- [102] Laura Bellia and Concetta et.al Marino. An overview on solar shading systems for buildings. *Energy Procedia*, 62:309–317, 2014.
- [103] Line Karlsen and Per et. al Heiselberg. Solar shading control strategy for office buildings in cold climate. *Energy and Buildings*, 118:316–328, 2016.
- [104] Martin Vraa Nielsen and Svend et. al Svendsen. Quantifying the potential of automated dynamic solar shading in office buildings through integrated simulations of energy and daylight. *Solar Energy*, 85(5):757–768, 2011.
- [105] Elisa Guelpa and Giulia et. al Babero. Peak-shaving in district heating systems through optimal management of the thermal request of buildings. *Energy*, 137:706–714, Oktober 2017.
- [106] Jon Kalager. Mulighetsstudie: Bruk av elektrokjemisk energilagring til topplastreduering i hvaler kommune. Master's thesis, Norwegian University of Life Sciences, 2014.

- [107] Sunliang Cao and Ala et. al Hasan. Analysis and solution for renewable energy load matching for a single-family house. *Energy and Buildings*, 65:398–411, Oktober 2013.
- [108] David Fischer and Karen B. et. al Lindberg. Impact of pv and variable prices on optimal system sizing for heat pumps and thermal storage. *Energy and Buildings*, 128:723–733, September 2016.
- [109] Silje Tangen. Muligheter for bedre inn klima og lav energibruk i bygninger med doble fasader, June 2015.
- [110] Louise Sauvé and Lise et. al Renaud. Distinguishing between games and simulations: A systematic review. *Journal of Educational Technology & Society*, 10(3), 2007.
- [111] Jan L. M Hensen and Roberto Lamberts. *Building Performance Simulation for Design and Operation*. Taylor og Francis, Hoboken, 2012.
- [112] U.S Department of Energy. *EnergyPlus Version 8.8.0 Documentation, Getting Started*, 2017.
- [113] Lavenergiprogrammet. Solskjerming og energiberegninger. <http://lavenergiprogrammet.no/prosjektering-av-passivhus/solskjerming-og-energiberegninger/>, 2017. Accessed: 13.12.2017.
- [114] EQUA Simulation AB. *User manual IDA Indoor Climate and Energy, version 4.5*, 2013.
- [115] EQUA simulation AB. Ida indoor climate and energy. <http://www.equa.se/en/ida-ice>, Oktober 2017.
- [116] EQUA Simulation AB. Validation of ida indoor climate and energy 4.0 with respect to cen standards en15255-2007 and en15265-2007. Technical report, EQUA Simulation AB, 2010. Accessed: 13.12.2017.
- [117] Autodesk. Autodesk viewer. <https://viewer.autodesk.com/>, 2017. Accessed: 13.12.2017.
- [118] Peng Liu and Hans Martin et. al Mathisen. Theoretical prediction of longitudinal heat conduction effects on the efficiency of the heat wheel used for ventilation in powerhouse building “kjørbo” in norway. *Energy Procedia*, 105:4949–4954, 2017.
- [119] Tor Helge Dokka and Catherine Grini. Etterprøving av bygningers energibruk. metodikk. *SINTEF fag*, 6, 2013.
- [120] Jan Vincent Thue. *Bygningsrystikk grunnlag*. Fagbokforlaget, 2016.
- [121] Meteorologisk institutt. Været som var (klima) tennfjord, haram (møre og romsdal). <https://www.yr.no/>, 2018. Accessed: 12.05.2018.
- [122] Meteorologisk institutt. E-klima. [url:http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL](http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL), 2017. Accessed: 14.12.2017.

Vedlegg

Vedlegg A

Spørreundersøkelse om inneklima

Tabell A.1 viser Ørebro-skjema 2, som ble benyttet som utgangspunkt for oppbygging av spørsmål til spørreundersøkelsen om inneklima på Eidet omsorgssenter.

Tabell A.1: Ørebro-skjema 2

Plager på arbeidststedet	Ja, ofte (hver uke)	Ja, iblant	Nei, aldri
Trekk			
For varmt			
For ujevn (vekslende) temperatur			
For kaldt			
Innestengt og dårligluft			
Tørr luft			
Ubehagelig lukt			
Statisk elektrisitet med småstøt			
Tobakksrøyk fra andre			
Støy			
Belysning: svak eller blendende			
Støv og smuss			

I Tabell A.2 til Tabell A.16 vises spørsmål og oppbygging av spørreundersøkelsen om inneklima, som ble gjennomført på Eidet omsorgssenter. Resultatene fra undersøkelsen er vist med antall svar og prosentvis fordeling per spørsmål og alternativ.

Spørsmål 1 Hva er ditt kjønn?

Tabell A.2: Spørsmål 1

	Antall svar	Prosent [%]
Mann	1.00	6.25
Kvinne	14.00	87.50
NA	1.00	6.25
Totalt	16.00	100.00

Spørsmål 2 Hva er din alder?

Tabell A.3: Spørsmål 2

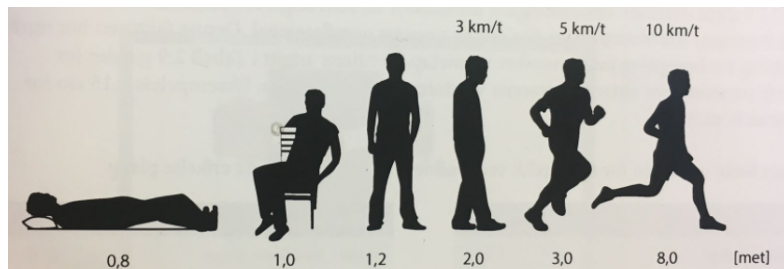
	Antall svar	Prosent [%]
Under 18	0.00	0.00
18-25	0.00	0.00
26-35	1.00	6.25
36-45	2.00	12.50
46-55	7.00	43.75
56-65	6.00	37.50
Eldre	0.00	0.00
NA	0.00	0.00
Totalt	16.00	100.00

Spørsmål 3 Hva jobber du med?

Tabell A.4: Spørsmål 3

	Antall svar	Prosent [%]
Hjemmesykepleie	1.00	6.25
Sykepleie eller lignende	15.00	93.75
Annet	0.00	0.00
NA	0.00	0.00
Totalt	16.00	100.00

Spørsmål 4 Met er en enhet som brukes til å uttrykke aktivitetsnivå. Hvordan vil du beskrive ditt gjennomsnittlige aktivitetsnivå i løpet av en dag (i antall Met) ut fra beskrivelse av aktivitetsnivå og Figur A.1 nedenfor?

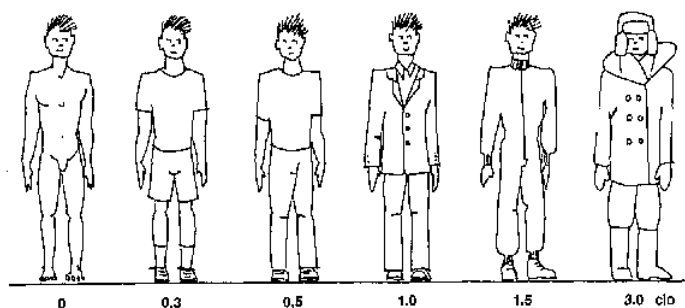


Figur A.1: Oversikt over aktivitetsnivå (gjengitt med tillatelse fra [49])

Tabell A.5: Spørsmål 4

	Beskrivelse	Antall svar	Prosent [%]
0.8 Met	Liggende	0.00	0.00
1.0 Met	Sittende, avslappet	1.00	6.25
1.2 Met	Stående, avslappet	0.00	0.00
1.2 Met	Sittende, rolig aktivitet (kontor, bolig, skole)	1.00	6.25
1.6 Met	Sående aktivitet (laboratorium, lett aktivitet)	0.00	0.00
2.0 Met	Stående aktivitet (ekspedering, husarbeid, arbeid ved maskin) tilsvarende ca. 3 km/t i ganghastighet	6.00	37.50
3.0 Met	Middels aktivitet (tungt arbeid, verksted) tilsvarende ca. 5 km/t i ganghastighet	7.00	43.75
NA	Ikke besvart	1.00	6.25
Totalt		16.00	100.00

Spørsmål 5 Enheten Clo beskriver bekleddingens isolasjonsevne, der lett antrekk/innetøy tilsvarer en lavere verdi av Clo enn tyngre antrekk/utetøy. Hva er din typiske bekledding inne på omsorgssenteret ut fra Figur A.2 og beskrivelse av Clo?



Figur A.2: Oversikt over bekleddingens isolasjonsevne

Tabell A.6: Spørsmål 5

	Beskrivelse	Antall svar	Prosent [%]
0.3 Clo	Shorts, underbukse, t-skjorte, lette sokker, sandaler	0.00	0.00
0.45 Clo	Lett kjole med ermer, underkjole, strømpebukse, underbukse	0.00	0.00
0.5 Clo	Lette bukser, skjorte med korte ermer, underbukse, sokker, sko	12.00	75.00
0.6 Clo	Skjørt, skjorte med korte ermer, underbukse, strømpebukser, sandaler	0.00	0.00
0.7 Clo	Bukser, skjorte, underbukse, sokker, sko	3.00	18.75
0.9 Clo	Skjørt, genser med rundt hals, skjorte, underbukse, tykke knestrømper	0.00	0.00
1.0 Clo	Bukse, jakke skjorte, underbukse, sokker, sko	0.00	0.00
1.5 Clo	Frakk, jakke, vest, bukse, skjorte, kort undertøy sokker, sko	0.00	0.00
NA	Ikke besvart	1.00	6.25
Totalt		16.00	100.00

Spørsmål 6 Generelle spørsmål om temperatur

- 6.1 Er du plaget av skiftende temperatur i rommet?
6.2 Er det stor forskjell i temperatur mellom hodehøyde og gulv?
6.3 Føler du trekk på føttene eller i nakken?
6.4 Forekommer det plagsom varme fra varmeovner/oppvarmingssystem?
6.5 Har du mulighet til å regulere temperaturen i bygget/rommet selv?
6.6 Forekommer det ubehagelig oppvarming fra sola?

Tabell A.7: Spørsmål 6

SPM		Hver dag	3-4 ganger pr uke	1-2 ganger pr uke	1-2 ganger pr mnd	Sjeldnere	Aldri	NA	Totalt svar
6.1	Stk [%]	2.00 12.50	3.00 18.75	5.00 31.25	2.00 12.50	3.00 18.75	1.00 6.25	0.00 0	16.00 100.00
6.2	Stk [%]	0.00 0.00	0.00 0.00	1.00 6.25	0.00 0.00	10.00 62.50	4.00 25.00	1.00 6.25	16.00 100.00
6.3	Stk [%]	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	9.00 56.25	6.00 37.50	1.00 6.25	16.00 100.00
6.4	Stk [%]	2.00 12.50	0.00 0.00	3.00 18.75	2.00 12.50	5.00 31.25	3.00 18.75	1.00 6.25	16.00 100.00
6.5	Stk [%]	3.00 18.75	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	6.00 37.50	5.00 31.25	2.00 12.50	16.00 100.00
6.6	Stk [%]	1.00 6.25	2.00 12.50	1.00 6.25	3.00 18.75	7.00 43.75	2.00 12.50	0.00 0.00	16.00 100.00

Spørsmål 7 Spørsmål om den ønskede og følte temperaturen i bygget

7.1 Hvordan synes du temperaturen på omsorgssenteret er om vinteren?

7.2 Hvordan foretrekker du at temperaturen på omsorgssenteret er om vinteren?

7.3 Hvordan synes du at temperaturen på omsorgssenteret er om sommeren?

7.4 Hvordan foretrekker du at temperaturen på omsorgssenteret er om sommeren?

Tabell A.8: Spørsmål 7

SPM		Meget varmt	Varmt	Litt varmt	Nøytral	Litt kjølig	Kjølig	Kaldt	NA	Totalt svar
7.1	Stk [%]	0.00 0.00	1.00 6.25	2.00 12.50	8.00 50.00	5.00 31.25	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	16.00 100.00
7.2	Stk [%]	0.00 0.00	0.00 0.00	7.00 43.75	9.00 56.25	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	16.00 100.00
7.3	Stk [%]	1.00 6.25	2.00 12.50	6.00 37.50	7.00 43.75	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	16.00 10.000
7.4	Stk [%]	0.00 0.00	0.00 0.00	1.00 6.25	14.00 87.50	1.00 6.25	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	16.00 100.00

Spørsmål 8 Spørsmål om luftkvalitet

8.1 Syns du det er tung eller dårlig luft i bygget?

8.2 Er du plaget av mye vondt i hodet i løpet av arbeidstiden?

8.3 Syns du luften i bygget er tørr?

8.4 Er du plaget av tørre øyne i løpet av arbeidstiden?

Tabell A.9: Spørsmål 8

SPM		Hver dag	3-4 ganger pr uke	1-2 ganger pr uke	1-2 ganger pr mnd	Sjeldnere	Aldri	NA	Totalt svar
8.1	stk [%]	5.00 31.25	3.00 18.75	3.00 18.75	0.00 0.00	3.00 18.75	2.00 12.50	0.00 0.00	16.00 100.00
8.2	stk [%]	2.00 12.50	1.00 6.25	2.00 12.50	1.00 6.25	7.00 43.75	3.00 18.75	0.00 0.00	16.00 100.00
8.3	stk [%]	8.00 50.00	1.00 6.25	3.00 18.75	0.00 0.00	3.00 18.75	1.00 6.25	0.00 0.00	16.00 100.00
8.4	stk [%]	6.00 37.50	2.00 12.50	2.00 12.50	1.00 6.25	2.00 12.50	3.00 18.75	0.00 0.00	16.00 100.00

Spørsmål 9 Hvordan oppfatter du luftkvaliteten på omsorgssenteret generelt?**Tabell A.10:** Spørsmål 9

	Luften føles tung	Luften føles tilfredsstillende	Luften føles frisk	Annet	NA	Totalt svar
Antall	4.00	4.00	2.00	6.00	0.00	16.00
Prosent	25.00	25.00	12.50	37.50	0.00	100.00

KOMMENTARER: Ut fra kommentarene på spørsmål kommer det frem at det er litt varierende luftkvalitet på omsorgssenteret. Det blir nevnt at det er tung, tørr og trykkende luft på enkelte rom i bygget, der personalkontor og vaktrom blir trekt frem som rom med spesielt tung luft og høy temperatur.

Spørsmål 10 Spørsmål om støy

- 10.1 Har du en generell oppfatning om at det ofte forekommer forstyrrende støy på omsorgssenteret?
- 10.2 Er det lytt mellom rommene på omsorgssenteret? (f.eks mellom gangen og beboerrom, eller gangen og kontorer)
- 10.3 Forekommer det ofte forstyrrende støy/bråk utenfra? (trafikk, skole, byggevirkksomhet)
- 10.4 Er det forstyrrende susing eller during fra ventilasjonsanlegget eller andre installasjoner i bygget?

Tabell A.11: Spørsmål 10

	Ja	Av og til	Nei	NA	Totalt	
10.1	Antall	2.00	7.00	7.00	0.00	16.00
	[%]	12.50	43.75	43.75	0.00	100.00
10.2	Antall	3.00	6.00	6.00	1.00	16.00
	[%]	18.75	37.50	37.50	6.25	100.00
10.3	Antall	0.00	6.00	9.00	1.00	16.00
	[%]	0.00	37.50	56.25	6.25	100.00
10.4	Antall	7.00	6.00	3.00	0.00	16.00
	[%]	43.75	37.50	18.75	0.00	100.00

Spørsmål 11 Spørsmål om belysning

11.1 Er belysningen godt tilpasset behovene til både arbeid og sosiale aktiviteter?

11.2 Er fargene på det kunstige lyset fra amatører og lamper behagelig?

11.3 Forekommer det plagsomt lys fra sola? (at solavskjermingen ikke beskytter tilstrekkelig)

Tabell A.12: Spørsmål 11

		I stor grad	Tilfredsstillende	I liten grad	Nei	NA	Totalt svar
11.1	Stk	3.00	5.00	6.00	2.00	0.00	16.00
	[%]	18.75	31.25	37.50	12.50	0.00	100.00
11.2	Stk	1.00	6.00	4.00	4.00	1.00	16.00
	[%]	6.25	37.50	25.00	25.00	6.25	100.00
11.3	Stk	8.00	1.00	6.00	1.00	0.00	16.00
	[%]	50.00	6.25	37.50	6.25	0.00	100.00

Spørsmål 12 Har du noen ytterligere kommentarer til spørsmålene om fargen på belysningen og belysningsnivå?**Tabell A.13:** Spørsmål 12

	Svar	NA	Totalt svar
Antall	9.00	7.00	16.00
Prosent	56.25	43.75	100.00

KOMMENTARER: Det blir nevnt i kommentarene til spørsmålet at flere av lyssensorene ikke fungerer som de skal, og at det er skapt lys på pasientrommene om natten. Der belysningen på pasientrommene skus på fullt nivå ved bevegelse også om natten, noe som gjør det vanskelig å sjekke til pasientene. Det nevnes også at det er ubehagelig lys på kontorene, der det ikke er mulig å dimme eller skru av lysene. Det beskrives et ønske blant ansatte om mulighet for å regulere eller skru av lyset på flere rom. Videre kommenteres det at ansatte mener det er skapt lys i fellesrommene, og det vises til at det her er forskjell på hvilke belysningsnivå som er foretrukket for ansatte og beboerne.

Spørsmål 13 Arbeidsforhold og effektivitet

13.1 Hvordan påvirker temperaturen på omsorgssenteret effektiviteten din?

13.2 Hvordan påvirker luftkvaliteten effektiviteten din?

13.3 Hvordan påvirker belysningsnivået effektiviteten din?

13.4 Hvordan påvirker inneklima på omsorgssenteret generelt effektiviteten din?

Tabell A.14: Spørsmål 13

		Positivt	Verken positivt eller negativt	Negativt	NA	Totalt svar
13.1	Stk	1.00	11.00	4.00	0.00	16.00
	[%]	6.25	68.75	25.00	0.00	100.00
13.2	Stk	1.00	10.00	5.00	0.00	16.00
	[%]	6.25	62.50	31.25	0.00	100.00
13.3	Stk	1.00	9.00	6.00	0.00	16.00
	[%]	6.25	56.25	37.50	0.00	100.00
13.4	Stk	1.00	11.00	3.00	1.00	16.00
	[%]	6.25	68.75	18.75	6.25	100.00

Spørsmål 14 Hva syns du generelt om inneklima på omsorgssenteret?**Tabell A.15:** Spørsmål 14

	Jeg er svært fornøyd	Jeg er ganske fornøyd	Jeg er litt fornøyd	Verken /eller	Jeg er litt misfornøyd	Jeg er misfornøyd	Jeg er veldig misfornøyd	Totalt svar
Stk	1.00	3.00	4.00	2.00	4.00	1.00	1.00	16.00
[%]	6.25	18.75	25.00	12.50	25.00	6.25	6.25	100.00

Spørsmål 15 Har du andre kommentarer eller tilbakemeldinger om temperatur og innelima på Eidet omsorgssenter?

Tabell A.16: Spørsmål 15

	Svar	NA	Totalt svar
Stk	7.00	9.00	16.00
[%]	43.75	56.25	100.00

KOMMENTARER: Generelt blir det kommentert at det hadde vært ønskelig å kunne regulere temperaturen i flere rom på omsorgssenteret. Det nevnes spesielt at personalrommene har redusert temperatur regulering, i tillegg til dårlig luftkvalitet og innelima. På kontorene hadde det vært ønskelig å ha muligheten til å regulere temperatur og å ha vinduer som skaper mulighet til å regulere luftkvaliteten når mange ansatte er i rommet samtidig.

Vedlegg B

Utdyping av generelle tiltakspakker

Tabell B.1 til Tabell B.4 viser sammensetningen av tiltakspakkene med tilhørende tiltak for forbedringsnivå, i tillegg til rekkefølgen for simulering av tiltakspakkene.

Tabell B.1: Oversikt over første runde med tiltakspakker til simulering

1. runde med simulering av tiltak

	Iso	Vindu	KB	n	B	Vent	LM	VG	SFP	SS
A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
O	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
P	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
Q	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
S	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
I	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
J	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
K	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
L	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
M	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
E	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1
F	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
C	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2
B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
W	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
V	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2
U	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2
T	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2
R	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
Ø	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2
Æ	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2
Z	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2
Y	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2
X	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
D	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1
G	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
H	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2

Tabell B.2: Oversikt over andre runde med tiltakspakker til simulering

2. runde med simulering av tiltak

	Iso	Vindu	KB	n	B	Vent	LM	VG	SFP	SS
AL	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2
AI	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
AJ	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2
AK	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
AC	2	2	1	1	2	2	1	2	1	2
AB	2	1	1	1	2	2	1	2	1	2
AA	1	1	1	1	2	2	1	2	1	2
AD	2	1	1	1	2	2	1	2	2	2
AE	2	2	1	1	2	2	1	2	2	2
AH	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1
AG	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1
AF	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1

Tabell B.3: Oversikt over tredje runde med tiltakspakker til simulering

3. runde med simulering av tiltak

	Iso	Vindu	KB	n	B	Vent	LM	VG	SFP	SS
AO	2	1	1	1	2	1	2	1	1	1
AP	2	2	1	1	2	1	2	1	1	1
AQ	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1
AS	1	1	2	2	2	1	2	1	1	1
AR	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2
AT	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2
AU	2	1	1	1	2	1	2	1	2	2
AV	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
AW	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2
AX	2	1	1	1	2	1	2	2	1	2
AY	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2
AZ	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2
AÆ	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2
AN	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2
AM	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2

Tabell B.4: Oversikt over tiltakspakker simulert med forbedringsnivå 3

Tiltak med kombinasjon av mellomste forbedringsnivå

	Iso	Vindu	KB	n	B	Vent	LM	VG	SFP	SS
Å1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Å2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
Å3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
Å4	3	3	3	3	2	3	2	3	3	2
Å5	3	3	3	3	3	1	2	3	3	2
Å6	3	3	3	3	3	2	2	3	3	2
Å7	3	3	3	3	2	1	2	3	3	2
Å8	2	3	3	3	2	1	2	3	3	2
Å9	2	2	3	3	2	1	2	3	3	2
Å10	3	3	3	3	2	1	1	3	3	2

Vedlegg C

Beregning av behov for varmtvann og belysning

Tabell C.1 viser verdier benyttet for beregning av reell energi- og effektbruk til varmtvann for Eidet omsorgssenter ut fra målinger i EMSweb. Beregningen tar utgangspunkt i Likning 3.1 i Kapittel 3.1.2. Videre viser Tabell C.2 verdier benyttet til beregning og resultat av virkelig effektbruk til belysning ut fra målte verdier for sykehjemmet.

Tabell C.1: Beregning av reell energibruk til varmtvann for Eidet omsorgssenter

Beskrivelse	Verdi	Enhet
Temperaturdifferanse	60	K
Varmekapasitet vann	4,1813	kJ/kgK
Omgjøring fra liter til kilo	1	
Energi for å varme opp 1 liter vann	250,88	kJ
Areal Eidet omsorgssenter	7038	m ²
Reelt varmtvannsforbruk Eidet omsorgssenter	3 241 034	l/år
Energi for oppvarming av tappevann	813 104 128	kJ/år
Effekt for oppvarming av tappevann	25,78	kW
Spesifikk effektbehov for oppvarming av tappevann	3,66	W/m ²
Effektbehov for oppvarming av tappevann med likt antall brukstimer i NS3031	21,55	kWh/m ² år

Tabell C.2: Beregning av reell energibruk til belysning for Eidet omsorgssenter

Beskrivelse	Verdi	Enhet
Totalt målt energibruk til belysning	101 879,80	kWh/år
Målt spesifikt effektbehov til belysning	1,65	W/m ²
BRA Eidet omsorgssenter	7038	m ²
Sammenligning av verdier bruk til beregning av belysning i oppgaven		
Passivhusstandard	4 W/m ² (5 W/m ² - 20 %)	
Verdi bruk i beregninger i SIMIEN-fil	3,21 W/m ²	

Vedlegg D

Økonomisk beregning av tiltak for oppvarming og kjøling

Tabell D.1 og Tabell D.2 viser verdier for areal av ulike bygningdeler og omregningsfaktor for levetid for komponenter til bruk i beregningen av investeringskostnad for tiltakspakkene. Videre viser Tabell D.3 og Tabell D.4 en oversikt over kostnader for ulike generelle tiltak, i tillegg til utvalgte tiltak for fornybar energi. Verdien for grunnvarmepumpe med en varmeeffekt på 49 kW er interpolert ut fra de to resterende verdiene listet i Tabell D.4. Oversikt over kostnader for de generelle tiltakspakkene og den totale investeringskostnaden for de ulike tiltakspakkene brukt i beregningen av nåverdi er deretter vist i Tabell D.5 til Tabell D.7.

Tabell D.1: Oversikt over areal av ulike deler av bygningens kropp

Beskrivelse	Verdi [m ²]
BRA	7038
Yttervegg	2753
Tak	1592
Gulv	1592
Vindu/dør	780
Solskjerming	670

Tabell D.2: Omregning av kostnad tilpasset levetid for tiltakspakken

Tiltak	Omregning til 60 års levetid
Bygningsteknisk	1 x kostnad
Vinduer og dører	2 x kostnad
Ventilasjon	3 x kostnad
Solskjerming	4 x kostnad
Belysning	4 x kostnad
Solcelleanlegg	2,4 x kostnad
Solfanger	2,4 x kostnad
Fancoil	3 x kostnad
Grunnvarmepumpe	3 x kostnad

Tabell D.3: Kostnad for generelle tiltak på bygningskroppen

Tiltak	Beskrivelse	Enhets grunnlag	Pris [kr/m ²]
Isolering 1	Vegg (0,22 (W/m ² K))	m ² vegg	558
	Tak (0,18 (W/m ² K))	m ² vegg	435
	Gulv (0,18 (W/m ² K))	m ² vegg	413
Isolering 2	Vegg (0,12 (W/m ² K))	m ² vegg	1779
	Tak (0,09 (W/m ² K))	m ² vegg	1281
	Gulv (0,08 (W/m ² K))	m ² vegg	1060
Isolering 3	Vegg (0,18 (W/m ² K))	m ² vegg	1880
	Tak (0,13 (W/m ² K))	m ² vegg	840
	Gulv (0,10 (W/m ² K))	m ² vegg	619
Vindu 1	1,2 (W/m ² K)	m ² vindu/dør	2848
Vindu 2	0,8 (W/m ² K)	m ² vindu/dør	3205
Vindu 3	1 (W/m ² K)	m ² vindu/dør	3026.5
Dør 1	1,2 (W/m ² K)	m ² vindu/dør	2848
Dør2	0,8 (W/m ² K)	m ² vindu/dør	3205
Dør3	1 (W/m ² K)	m ² vindu/dør	3026.5
Lekkasjetall 1	1,5 (h ⁻¹)	m ² klimaskjerm	77
Lekkasjetall 2	0,6 (h ⁻¹)	m ² klimaskjerm	77
Lekkasjetall 3	1 (h ⁻¹)	m ² klimaskjerm	77
Kuldebroverdi 1	0,07 W/(m ² K)	m ² klimaskjerm	77
Kuldebroverdi 2	0,03 W/(m ² K)	m ² klimaskjerm	77
Kuldebroverdi 3	0,05 W/(m ² K)	m ² klimaskjerm	77
Innvendige persiener		m ² vindu	732
Utvendige persiener		m ² vindu	1028
Solavskjerming i glass		m ² vindu	1486
Belysning 1	8 W/m ²	m ² BRA	762
Belysning 2	5 W/m ²	m ² BRA	762
Belysning 3	6 W/m ²	m ² BRA	762
Varmegjenvinner 1	70 [%]	m ² BRA	96
Varmegjenvinner 2	83 [%]	m ² BRA	192
Varmegjenvinner 3	80 [%]	m ² BRA	144
SFP 1	2 [kW/(m ³ /s)]	m ² BRA	96
SFP 2	1 [kW/(m ³ /s)]	m ² BRA	192
SFP 3	1,5 [kW/(m ³ /s)]	m ² BRA	144
Luftmengder 1	9 og 2	m ³ /h	356
Luftmengder 2	14 og 3	m ³ /h	356
Luftmengder 3	7 og 3	m ³ /h	356
Løsning ventilasjon 1	CAV og VAV	m ² BRA	450
Løsning ventilasjon 2	CAV og DCV (CO ₂ +temp)	m ² BRA	500
Løsning ventilasjon 3	CAV og DCV (CO ₂)	m ² BRA	500

Tabell D.4: Kostnad for fornybar energi

Tiltak	Pris	Pris anlegg [kr]	Total pris (med levetid) [kr]	Drift og vedlikehold [kr]
Solceller	18 [kNOK/kW _P]	1 620 000	3 888 000	32 400
Grunn- varmepumpe	30 [kW] 49 [kW] 60 [kW]	343 862 424 016 470 421	1 272 048	1 960
Solfanger	3 300 [kr/m ²]	660 000	1 584 000	
Fancoil	61 [kr/m ² BRA]	429 318	1 287 954	

Tabell D.5: Kostnad for generelle tiltak Del 1

Tiltak	Iso (totalt)	Vindu	KB + n	B	SS
Forbedring A [kr]	1 2 886 190	1 4 442 880	1 457 149	1 21 451 824	1 1 961 760
Forbedring B [kr]	2 8 624 459	2 4 999 800	2 457 149	2 21 451 824	2 2 755 040
Forbedring Å2 [kr]	3 7 498 368	3 4 722 120	3 457 149	3 21 451 824	2 2 755 040
Forbedring Z [kr]	2 8 624 459	2 4 999 800	1 457 149	2 21 451 824	2 2 755 040
Forbedring AL [kr]	2 8 624 459	2 2 499 900	1 457 149	2 21 451 824	2 2 755 040
Forbedring AK [kr]	2 8 624 459	1 4 442 880	1 457 149	2 21 451 824	2 2 755 040
Forbedring T [kr]	2 8 624 459	2 2 499 900	2 457 149	2 21 451 824	2 2 755 040
Forbedring AN [kr]	2 8 624 459	2 2 499 900	2 457 149	2 21 451 824	2 2 755 040
Forbedring AD [kr]	2 8 624 459	1 4 442 880	1 457 149	2 21 451 824	2 2 755 040
Forbedring AE [kr]	2 8 624 459	2 2 499 900	1 457 149	2 21 451 824	2 2 755 040

Tabell D.6: Kostnad for generelle tiltak Del 2

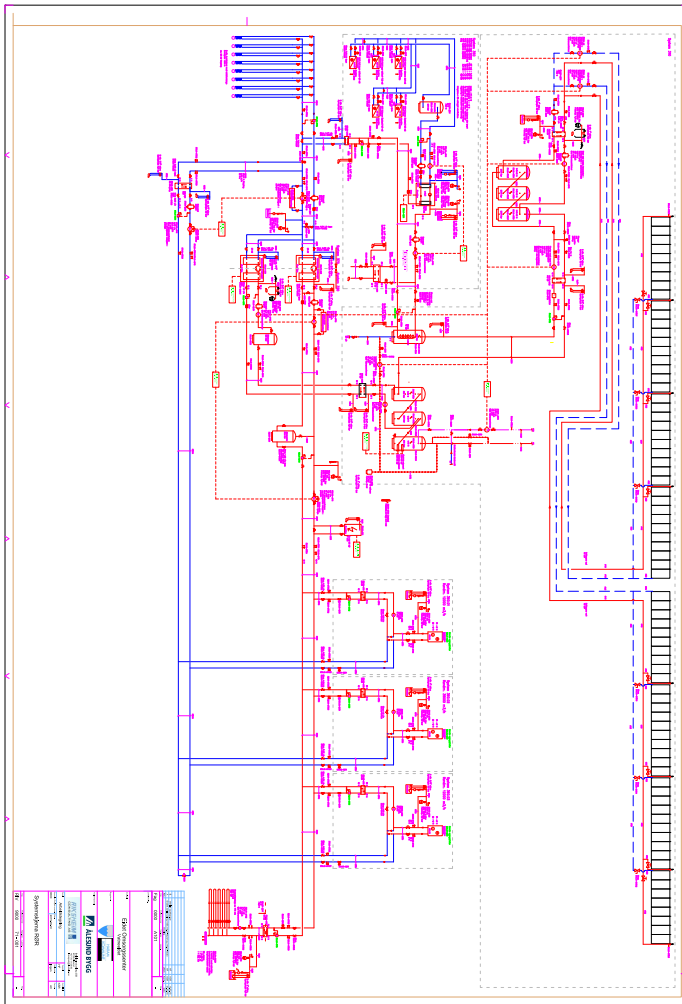
Tiltak	Vent	LM	VG	SFP	Totalt [kr]
Forbedring A [kr]	1 9 501 300	1 9 612	1 2 026 944	1 2 026 944	44 764 603
Forbedring B [kr]	2 10 557 000	2 14 952	2 4 053 888	2 4 053 888	56 968 000
Forbedring Å2 [kr]	3 10 557 000	3 7 476	3 3 040 416	3 3 040 416	50 489 393
Forbedring Z [kr]	2 10 557 000	2 14 952	2 4 053 888	2 4 053 888	56 968 000
Forbedring AL [kr]	2 3 519 000	2 14 952	2 4 053 888	2 4 053 888	47 430 100
Forbedring AK [kr]	2 3 519 000	2 14 952	2 4 053 888	2 4 053 888	49 373 080
Forbedring T [kr]	2 3 519 000	1 9 612	2 4 053 888	2 4 053 888	47 424 760
Forbedring AN [kr]	1 9 501 300	1 9 612	2 4 053 888	2 4 053 888	53 407 060
Forbedring AD [kr]	2 3 519 000	1 9 612	2 4 053 888	2 4 053 888	49 367 740
Forbedring AE [kr]	2 3 519 000	1 9 612	2 4 053 888	2 4 053 888	47 424 760

Tabell D.7: Total kostnad for tiltakspakker

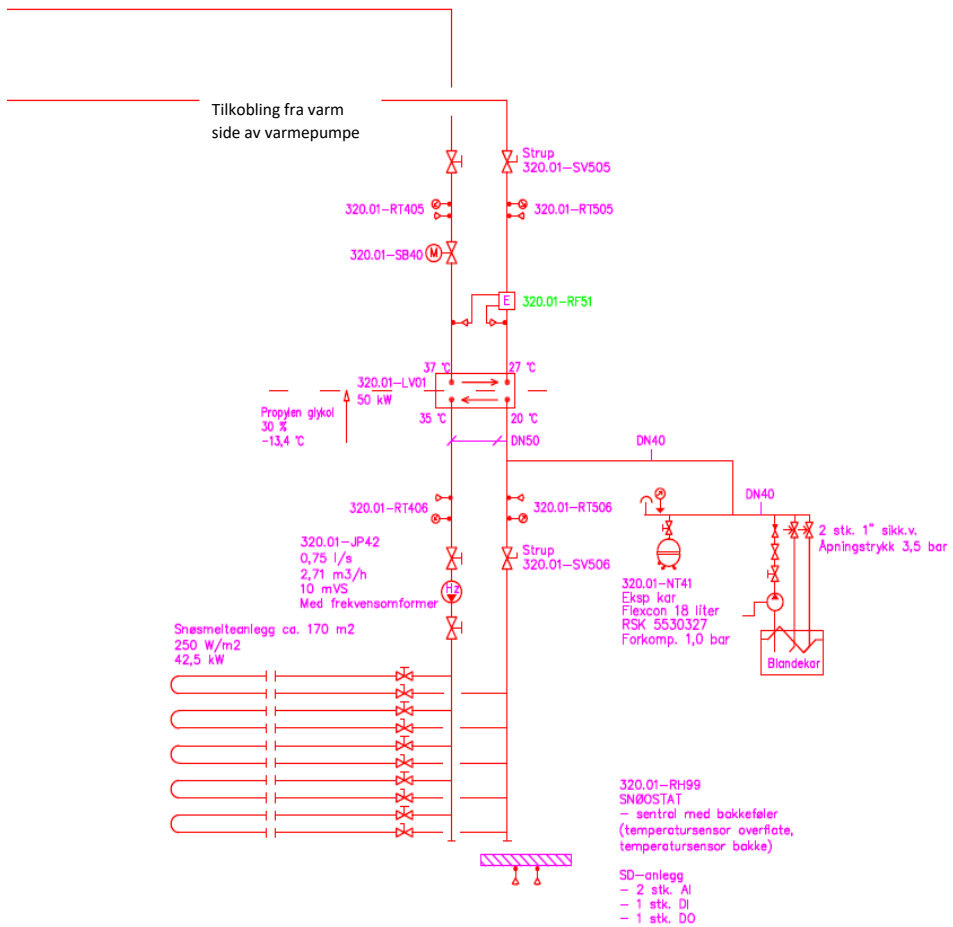
Tiltak	Generell tiltak [kr]	Fornybar energi [kr]	Drift og vedlikehold [kr]	Total investering [kr]
1A	44 764 603	5 160 048	34 360	49 924 651
1B	56 968 000	5 160 048	34 360	62 128 048
1Å2	50 489 393	5 160 048	34 360	55 649 441
1Z	56 968 000	5 160 048	34 360	62 128 048
1AL	47 430 100	5 160 048	34 360	52 590 148
1AK	49 373 080	5 160 048	34 360	54 533 128
1T	47 424 760	5 160 048	34 360	52 584 808
1AN	53 407 060	5 160 048	34 360	58 567 108
1AD	49 367 740	5 160 048	34 360	54 527 788
1AE	47 424 760	5 160 048	34 360	52 584 808
2A	44 764 603	6 261 231	32 400	51 025 834
2B	56 968 000	6 261 231	32 400	63 229 231
2Å2	50 489 393	6 261 231	32 400	56 750 624
2Z	56 968 000	6 261 231	32 400	63 229 231
2AL	47 430 100	6 261 231	32 400	53 691 331
2AK	49 373 080	6 261 231	32 400	55 634 311
2T	47 424 760	6 261 231	32 400	53 685 991
2AN	53 407 060	6 261 231	32 400	59 668 291
2AD	49 367 740	6 261 231	32 400	55 628 971
2AE	47 424 760	6 261 231	32 400	53 685 991
3A	44 764 603	6 744 048	34 360	51 508 651
3B	56 968 000	7 104 172	34 360	64 072 172
3Å2	50 489 393	7 104 172	34 360	57 593 565
3Z	56 968 000	7 104 172	34 360	64 072 172
3AL	47 430 100	7 104 172	34 360	54 534 272
3AK	49 373 080	7 104 172	34 360	56 477 252
3T	47 424 760	7 104 172	34 360	54 528 932
3AN	53 407 060	7 104 172	34 360	60 511 232
3AD	493 677 40	7 104 172	34 360	56 471 912
3AE	47 424 760	7 104 172	34 360	54 528 932

Vedlegg E

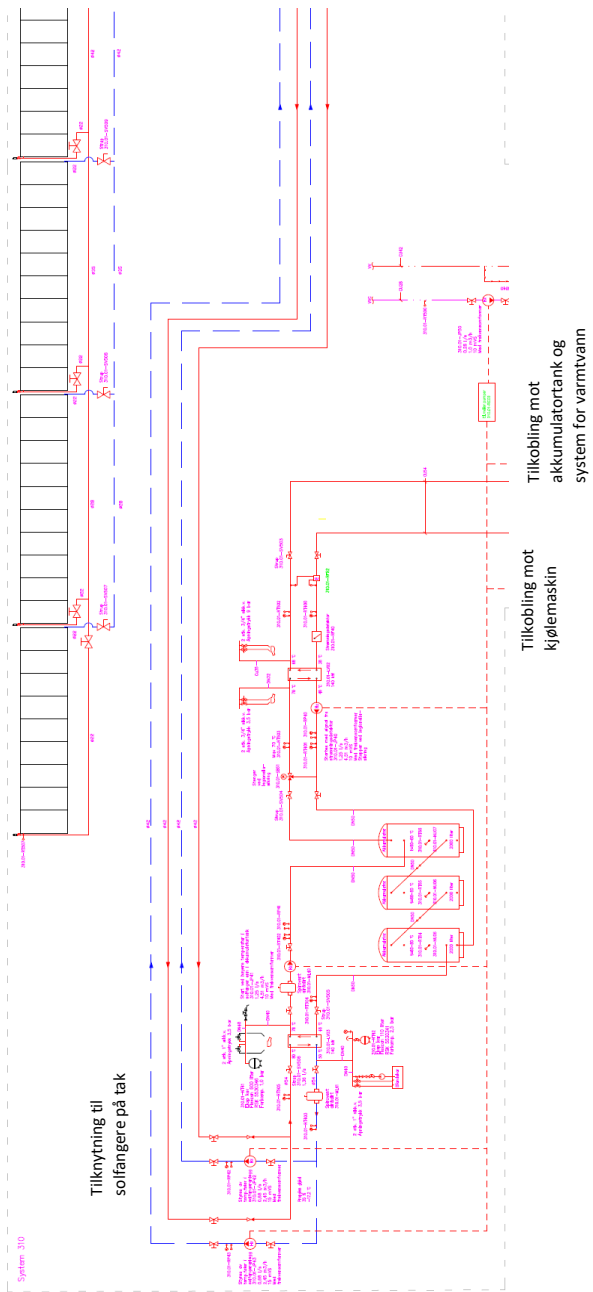
Systemskjema rør



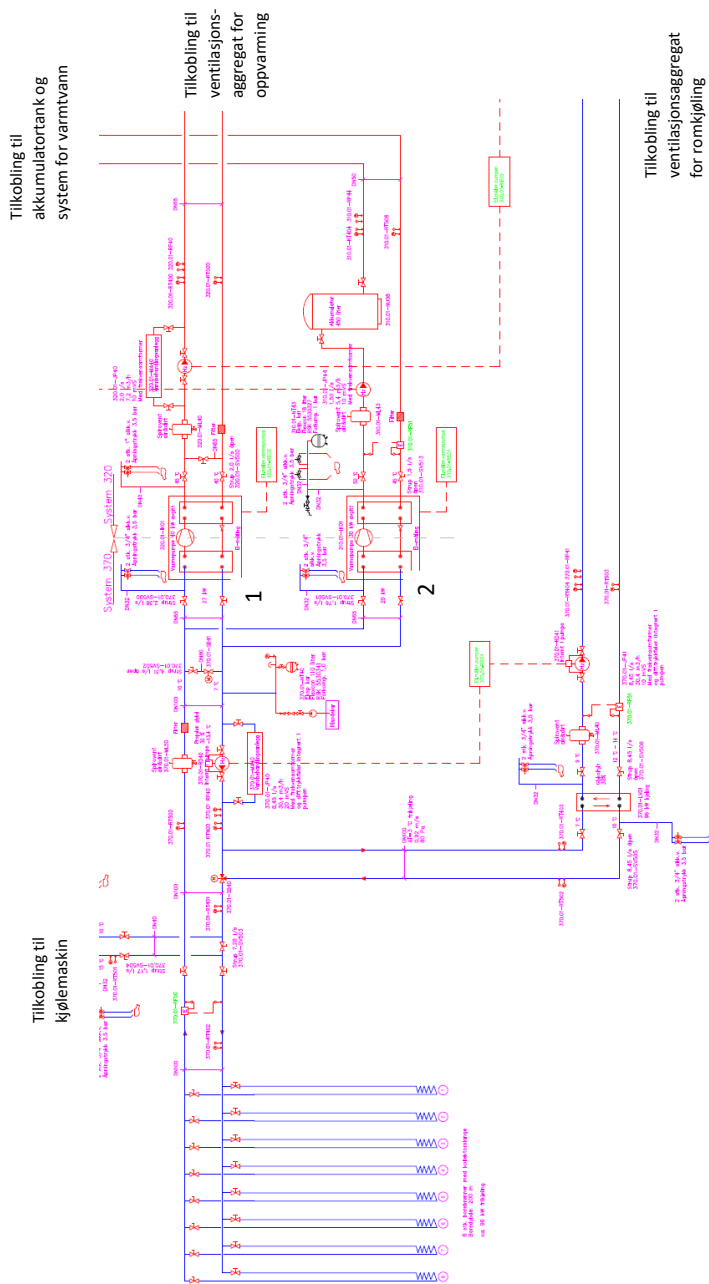
Figur E.1: Systemskjema rør



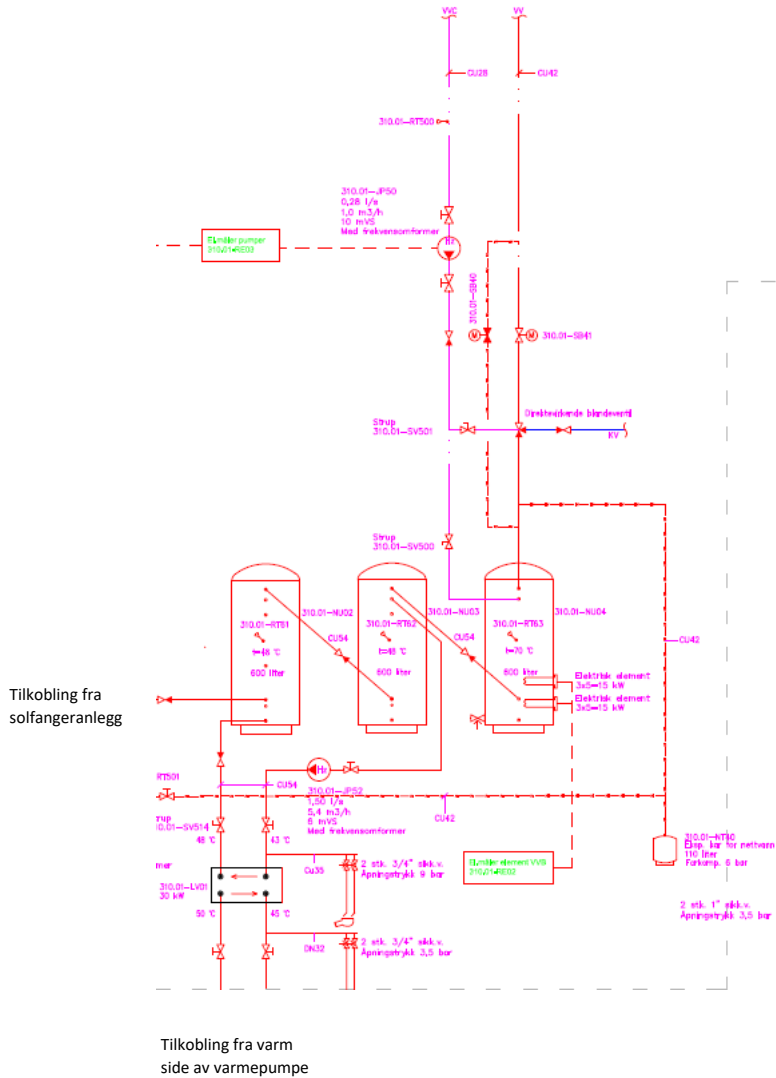
Figur E.3: Systemskjema for snøsmeltingsanlegg



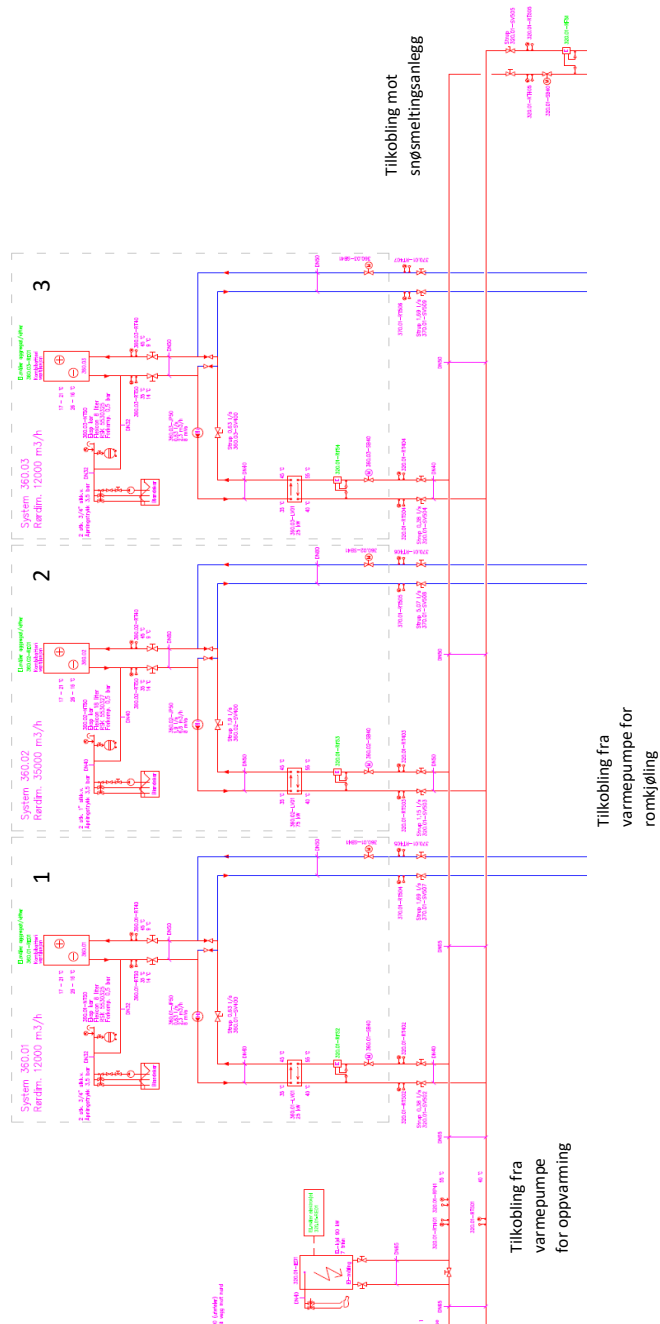
Figur E.4: Systemskjema for solfangeranlegg



Figur E.5: Systemskjema for varmepumpeanlegg



Figur E.6: Systemskjema for akkumulatortanker og varmtvannsanlegg

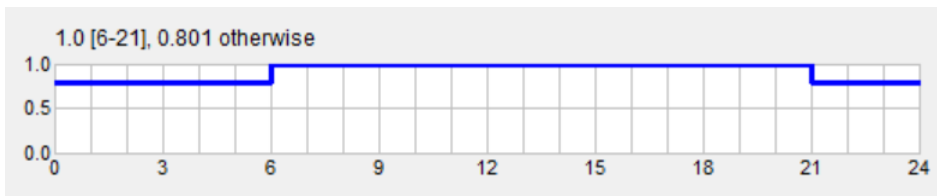


Figur E.7: Systemskjema for ventilasjon tilknyttet oppvarming og kjøling

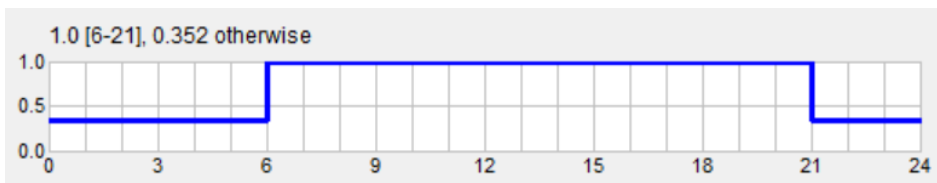
Vedlegg G

Tidsplaner

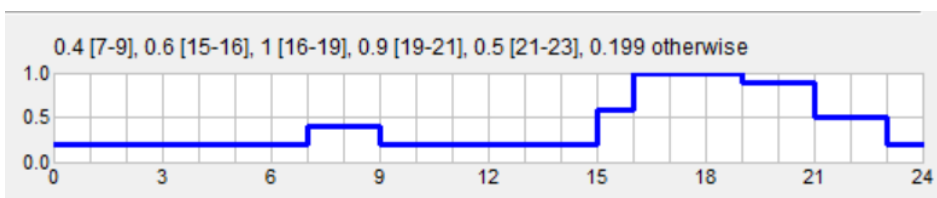
Tidsplanene for personbelastning, belysning og teknisk utstyr bruk i simuleringen av Eidet omsorgssenter er vist i Figur G.1 til G.3. Verdiene viser prosentvis endring over døgnet for henholdsvis personbelastning, belysning og teknisk utstyr for sykehjemmet.



Figur G.1: Tidsplan for personbelastning



Figur G.2: Tidsplan for belysning



Figur G.3: Tidsplan for teknisk utstyr

Vedlegg H

Beregning og utdyping av tiltak for oppvarming og kjøling

Tabell H.1 viser verdier for beregning og dimensjonering av varmepumpe for bruk i tiltakspakker for simulering av system for oppvarming, kjøling og fornybar energiproduksjon. Det er i beregningene tatt utgangspunkt i verdier fra litteratur om dimensjonering av varmepumpe i Kapittel 5.3.4 i tillegg til effektbehov for oppvarming og kjøling ut fra simuleringer av basemodellen.

Tabell H.1: Verdier for dimensjonering av varmepumpesystem for tiltakspakke

Beskrivelse	Verdi	Enhet
Maks kjølebehov	31	kW
Dimensjonering (100% av maksimalt behov)	31	kW
Maks oppvarmingsbehov	89	kW
Dimensjonering (55% av maksimalt behov)	49	kW
Varmeuttak for varmepumpen	35	W/m
Antall meter energibrønn	1404	m
Antall borehull (200m)	7	stk
Antatt COP	3.5	

Tabell H.2 viser en oversikt over solinnstrålingen ved 40° for Eidet omsorgssenter.

Tabell H.2: Energibruk og solinnstråling for Eidet omsorgssenter

Mnd	Solinnstråling (teoretisk) ved 40° [kWh/m ²]
Jan	13,30
Feb	35,84
Mar	75,95
Apr	118,20
Mai	148,80
Jun	155,10
Jul	143,22
Aug	115,32
Sep	79,20
Okt	41,54
Nov	16,35
Des	7,22

Vedlegg I

Temperaturkorrigering

Tabell I.1 viser verdier benyttet for å beregne temperaturkorrigeringsfaktor for Eidet omsorgssenter, mens Tabell I.2 viser temperaturkorrigeringen av energibruken for Eidet omsorgssenter til bruk i sammenligning med målte verdier.

Tabell I.1: Beregning av temperaturkorrigeringsfaktor

Måned	Faktor for tempkorrigering	Endelig faktor for tempkorrigering	Temperaturkorrigeringsfaktor	
			verdi>1, hvis ikke verdi=1	
			$(T_{Base}-T_{e,reell})$	$(T_{Base}-T_{e,norm})$
Jan	1,35	1,35	9,70	7,20
Feb	1,64	1,64	12,10	7,40
Mar	1,48	1,48	9,30	6,30
Apr	1,82	1,82	8,20	4,50
Mai	4,14	1,00	2,90	0,70
Jun	-0,60	1,00	1,20	-2,00
Jul	0,17	1,00	-0,60	-3,60
Aug	0,26	1,00	-1,00	-3,90
Sep	0,12	1,00	-0,20	-1,70
Okt	6,82	1,00	4,10	0,60
Nov	2,00	2,00	8,80	4,40
Des	1,07	1,07	6,50	6,10

Tabell I.2: Temperaturkorrigert energibruk for Eidet omsorgssenter

Mnd	Total energibruk [kWh]	Tempavhengig energibruk [kWh]	Tempkorrigert energibruk [kWh]	Totalt korrigert energibruk [kWh]
Jan	75 137,10	21 566,90	29 055,41	82 625,61
feb	67 663,40	19 987,70	32 682,59	80 358,29
Mar	70 453,10	19 021,30	28 079,06	79 510,86
Apr	58 507,90	10 497,80	19 129,32	67 139,42
Mai	54 995,10	5 745,00	5 745,00	54 995,10
Jun	50 905,80	2 461,50	2 461,50	50 905,80
Jul	53 226,50	1 522,70	1 522,70	53 226,50
Aug	55 291,30	2 347,40	2 347,40	55 291,30
Sep	55 870,40	3 600,00	3 600,00	55 870,40
Okt	63 389,90	9 495,00	9 495,00	63 389,90
Nov	67 156,30	14 765,80	29 531,60	81 922,10
Des	76 451,00	22 771,00	24 264,18	77 944,18
Totalt	749 047,80	133 782,10	187 913,76	803 179,46

Vedlegg J

Resultat av generelle tiltakspakker

Tabell J.1 til Tabell J.3 vises resultatet av energi- og effektbruk fra simuleringen av generelle tiltakspakke. I tabellene listes resultatet for alle 65 simuleringene av generelle tiltakspakker. Resultatene illustreres også i Figur J.1 og Figur J.2, der tiltakene har blitt markert med farger ut fra størrelsen på den spesifikke leverte energien til bygget.

Tabell J.1: Resultat av energi- og effektbruk for generelle tiltakspakker Del 1

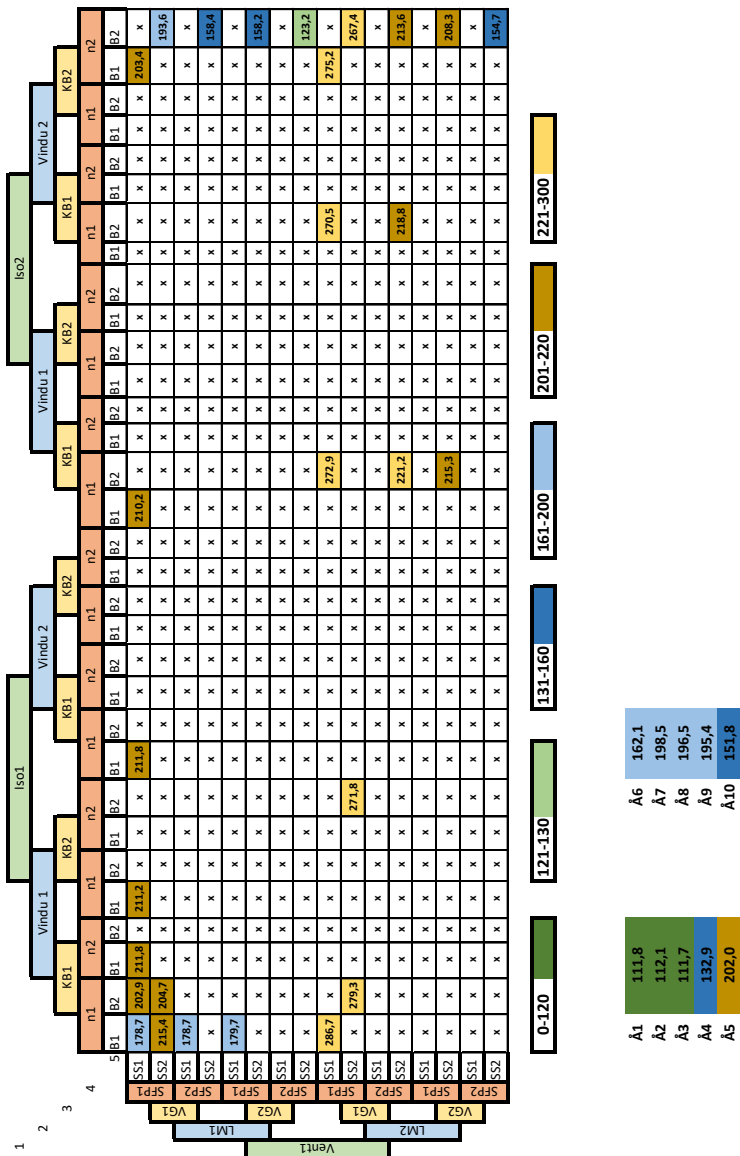
Tiltak	Energibehov [kWh/år]	Spesifikt energibehov [kWh/m ² år]	Levert energi [kWh/år]	Spesifikk levert energi [kWh/m ² år]	Max peak [kW]
A	1 257 513,30	178,67	1 504 364,00	213,80	321,97
N	1 515 800,30	215,37	1 515 134,00	215,40	356,88
O	1 257 513,30	178,67	1 256 844,00	178,60	321,97
P	1 264 972,20	179,73	1 264 305,00	179,70	299,15
Q	2 017 722,30	286,69	2 016 707,00	286,70	490,30
S	1 394 955,80	198,20	1 394 173,00	198,20	315,34
I	1 427 745,50	202,86	1 427 072,00	202,80	361,45
J	1 490 940,40	211,84	1 490 270,00	211,80	347,63
K	1 486 665,50	211,23	1 485 993,00	211,20	347,33
L	1 490 516,30	211,78	1 489 844,00	211,80	348,51
M	1 479 143,00	210,17	1 478 476,00	210,10	344,77
E	1 072 141,70	152,34	1 071 076,00	152,20	309,04
F	897 274,10	127,49	896 331,00	127,40	296,00
C	1 440 620,30	204,69	1 439 944,00	204,70	360,65
B	903 618,80	128,39	902 628,00	128,30	277,84
W	909 006,80	129,16	907 998,00	129,10	276,76
V	1 165 607,80	165,62	1 164 620,00	165,50	331,66
U	1 206 302,70	171,40	1 205 318,00	171,30	332,96
T	814 268,40	115,70	813 527,00	115,60	208,61
R	1 088 903,00	154,72	1 087 884,00	154,60	324,90
Ø	1 097 817,40	155,98	1 096 744,00	155,90	296,01
Æ	900 411,90	127,94	899 433,00	127,80	278,95
Z	893 471,00	126,95	892 495,00	126,90	279,60
Y	897 948,50	127,59	896 968,00	127,50	279,22
X	896 276,40	127,35	895 314,00	127,30	280,55
D	1 100 579,60	156,38	1 099 491,00	156,30	296,80
G	1 431 580,80	203,41	1 430 911,00	203,40	330,96
H	1 362 488,90	19,59	1 361 815,00	193,60	320,72

Tabell J.2: Resultat av energi- og effektbruk for generelle tiltakspakker Del 2 og Del 3

Tiltak	Energibehov [kWh/år]	Spesifikt energibehov [kWh/m ² år]	Lvert energi [kWh/år]	Spesifikk levert energi [kWh/m ² år]	Max peak [kW]
AL	892 812,90	126,86	891 844,00	126,80	282,19
AI	893 930,70	127,01	892 975,00	126,90	284,18
AJ	894 074,80	127,04	893 121,00	126,90	286,13
AK	891 687,00	126,70	890 716,00	126,60	286,18
AC	994 392,10	141,29	993 660,00	141,20	250,85
AB	983 334,40	139,72	982 605,00	139,70	254,21
AA	973 261,60	138,29	972 548,00	138,20	273,89
AD	800 356,70	113,72	799 629,00	113,70	218,56
AE	802 593,50	114,04	801 861,00	114,00	215,74
AH	897 644,80	127,54	896 645,00	127,40	283,03
AG	896 352,90	127,36	895 352,00	127,30	286,84
AF	900 665,30	127,97	899 690,00	127,90	296,78
AO	1 920 484,80	272,87	1 919 467,00	272,80	471,79
AP	1 903 771,20	270,50	1 902 755,00	270,50	464,08
AQ	1 936 601,40	275,16	1 935 586,00	275,10	466,25
AS	1 913 193,80	271,84	1 912 175,00	271,80	469,41
AR	1 965 523,40	279,27	1 964 510,00	279,20	490,71
AT	1 881 827,90	267,38	1 880 811,00	267,30	455,70
AU	1 556 757,20	221,19	1 555 734,00	221,10	417,47
AV	1 539 734,70	218,77	1 538 723,00	218,70	409,28
AW	1 503 144,30	213,58	1 502 131,00	213,50	401,28
AX	1 514 917,00	215,25	1 513 902,00	215,20	394,60
AY	1 465 800,20	208,27	1 464 782,00	208,20	379,68
AZ	1 469 424,80	208,78	1 468 442,00	208,70	387,51
AÆ	1 113 206,60	158,17	1 112 534,00	158,10	267,33
AN	866 861,30	123,17	866 190,00	123,10	232,33
AM	1 114 982,40	158,42	1 114 334,00	158,40	285,33

Tabell J.3: Resultat av energi- og effektbruk for generelle tiltakspakker del Å

Tiltak	Energibehov [kWh/år]	Spesifikt energibehov [kWh/m ² år]	Lvert energi [kWh/år]	Spesifikk lvert energi [kWh/m ² år]	Max peak [kW]
Å1	786 762,10	111,79	786 392,00	111,80	168,66
Å2	788 646,30	112,06	788 277,00	112,00	168,62
Å3	786 122,50	111,70	785 752,00	111,70	168,57
Å4	935 076,00	132,86	934 440,00	132,80	236,69
Å5	1 421 591,50	201,99	1 420 503,00	201,90	367,44
Å6	1 141 123,10	162,14	1 140 119,00	162,10	315,54
Å7	1 396 839,40	198,47	1 395 758,00	198,40	366,14
Å8	1 383 239,50	196,54	1 382 156,00	196,50	361,50
Å9	1 374 964,00	195,36	1 373 877,00	195,30	359,01
Å10	1 068 409,20	151,81	1 067 699,00	151,80	265,44



Figur J.1: Oversikt over energibruk for simulering av generelle tiltakspakker del 1

Resultatet av inn klima fra simuleringen av generelle tiltakspakker er listet i Tabell J.4 til Tabell J.6. I tabellene listes verdier for maksimal operativ temperatur gjennomsnittlig for bygget, i tillegg til temperaturen for den varmest sonen. I tillegg vises resultatet av andelen timer med ubehag, PPD og CO₂-konsentrasjon for simuleringene av generelle tiltakspakker. Figur J.3 og J.4 viser den gjennomsnittlige operative temperaturen for simuleringene med tilhørende fargekoder ut fra størrelsen på resultatet.

Tabell J.4: Resultat av inn klima for generelle tiltakspakker Del 1

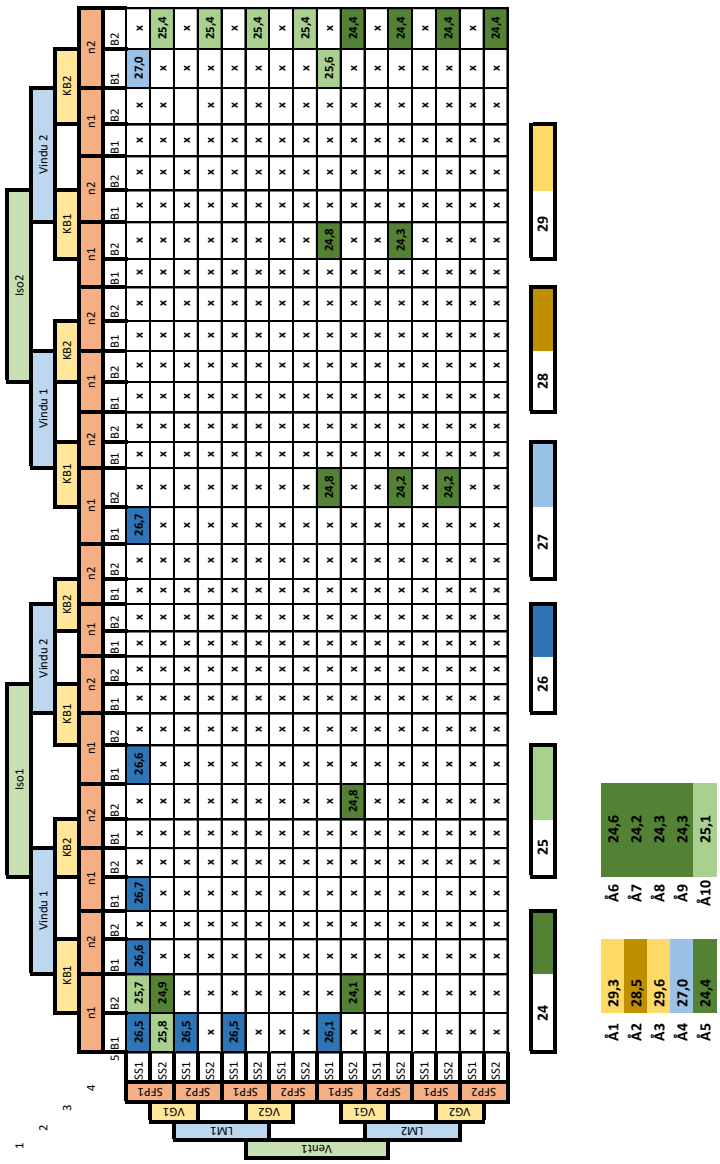
Tiltak	Maksimal T _o [°C]	Maksimal T _o i verste sone [°C]	Andel timer med ubehag [%]	PPD [%]	CO ₂ - konsentrasjon [ppm]
A	26,50	28,80	6,00	12,87	489,82
N	25,80	27,30	6,00	12,16	489,81
O	26,50	28,80	6,00	12,88	489,82
P	26,50	28,80	6,00	12,88	489,82
Q	25,30	27,40	7,00	13,20	467,85
S	26,10	28,30	6,00	11,25	562,98
I	25,70	28,00	7,00	15,10	489,90
J	26,60	28,90	6,00	12,20	489,90
K	26,70	29,00	6,00	12,29	489,87
L	26,60	28,90	6,00	12,30	489,80
M	26,70	29,00	6,00	11,79	489,90
E	25,30	27,10	6,00	11,25	561,52
F	24,40	25,90	7,00	13,96	571,20
C	24,90	26,50	7,00	15,13	489,87
B	24,60	26,00	6,00	9,18	558,54
W	25,00	26,90	6,00	9,16	558,44
V	24,60	26,00	6,00	9,17	558,54
U	24,60	26,00	6,00	9,17	558,50
T	25,20	26,90	6,00	8,59	560,30
R	24,40	25,80	7,00	11,43	467,86
Ø	25,00	26,40	6,00	8,12	540,55
Æ	24,60	26,00	6,00	9,97	562,56
Z	24,50	26,00	6,00	10,02	565,33
Y	24,50	25,90	6,00	9,97	563,55
X	24,50	25,90	6,00	10,77	565,27
D	25,40	27,30	6,00	8,24	540,60
G	27,02	29,40	6,00	11,56	489,83
H	25,40	27,00	6,00	9,98	489,88

Tabell J.5: Resultat av inneklima for generelle tiltakspakker Del 2 og 3

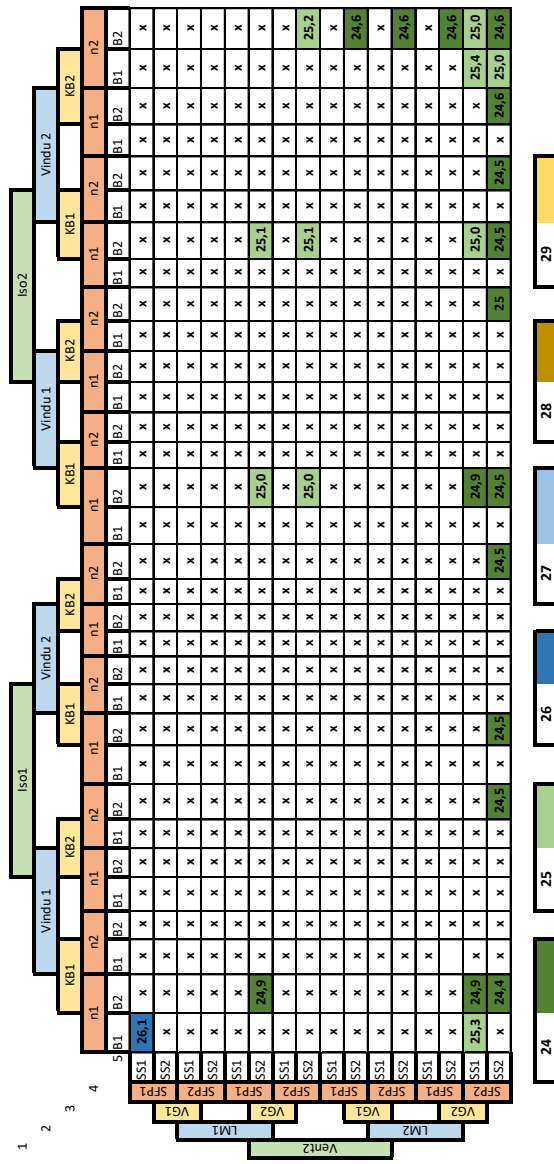
Tiltak	Maksimal T _o [°C]	Maksimal T _o i verste sone [°C]	Andel timer med ubehag [%]	PPD [%]	CO ₂ - konsentrasjon [ppm]
AL	24,50	25,90	6,00	10,91	567,25
AI	24,50	25,90	7,00	11,83	567,80
AJ	24,50	25,90	7,00	12,87	569,77
AK	24,50	25,90	7,00	11,94	568,62
AC	25,10	26,80	6,00	10,46	571,66
AB	25,00	26,70	6,00	11,57	573,67
AA	24,90	26,60	7,00	13,77	576,87
AD	25,00	26,70	6,00	11,56	573,62
AE	25,10	26,80	6,00	10,46	571,65
AH	25,00	26,80	6,00	10,88	567,18
AG	24,90	26,80	6,00	11,90	568,45
AF	24,90	26,70	7,00	13,94	571,15
AO	24,80	26,80	7,00	14,05	467,85
AP	24,80	26,90	7,00	13,14	467,85
AQ	25,60	27,70	6,00	9,61	467,88
AS	24,80	26,80	7,00	13,93	467,87
AR	24,10	25,50	8,00	15,66	467,83
AT	24,40	25,80	7,00	11,43	467,87
AU	24,20	25,60	8,00	14,06	467,83
AV	24,30	25,70	7,00	13,18	467,83
AW	24,40	25,80	7,00	11,43	467,82
AX	24,20	25,60	8,00	14,05	467,81
AY	24,40	25,80	7,00	11,42	467,86
AZ	24,60	26,00	6,00	9,17	558,53
AÆ	25,40	27,00	6,00	9,98	489,88
AN	25,40	27,00	6,00	9,98	489,83
AM	25,40	27,00	6,00	9,99	489,83

Tabell J.6: Resultat av inneklima for generelle tiltakspakker Del Å

Tiltak	Maksimal T_o [°C]	Maksimal T_o i verste sone [°C]	Andel timer med ubehag [%]	PPD [%]	CO ₂ - konsentrasjon [ppm]
Å1	29,30	33,50	11,00	37,70	584,64
Å2	28,50	31,40	10,00	29,00	584,66
Å3	29,60	34,10	12,00	40,30	584,64
Å4	27,00	30,60	8,00	19,50	574,20
Å5	24,40	25,80	7,00	13,12	477,18
Å6	24,60	26,00	6,00	10,48	563,59
Å7	24,20	25,60	8,00	13,93	477,16
Å8	24,30	25,60	7,00	13,15	477,16
Å9	24,30	25,70	7,00	12,69	477,15
Å10	25,10	26,70	7,00	12,85	500,50



Figur J.3: Oversikt over operativ temperatur for generelle tiltakspakker del 1



Figur J.4: Oversikt over operativ temperatur for generelle tiltakspakker del 2

Vedlegg K

Resultater fra simulering av oppvarming og kjøling

Tabell K.1: Resultat av energi- og effektbruk for tiltakspakker med oppvarming og kjøling

Tiltak	Energibehov [kWh/år]	Spesifikt energibehov [kWh/m ² år]	Levert energi [kWh/år]	Spesifikk levert energi [kWh/m ² år]	Max peak [kW]
1A	1 595 940,80	226,76	1 119 745,80	159,10	317,00
1B	903 446,90	128,37	555 298,20	78,90	189,90
1Å2	944 012,30	134,13	524 331,00	74,50	165,71
1Z	893 140,90	126,90	544 037,40	77,30	190,58
1AL	892 462,10	126,81	539 814,60	76,70	193,20
1AK	891 049,80	126,61	536 999,40	76,30	197,15
1T	824 398,30	117,14	496 179,00	70,50	156,65
1AN	898 775,40	127,70	542 629,80	77,10	182,79
1AD	804 797,70	114,35	474 361,20	67,40	158,84
1AE	809 036,10	114,95	479 287,80	68,10	167,05
2A	1 597 259,30	226,95	1 324 551,60	188,20	375,80
2B	902 100,80	128,18	685 501,20	97,40	244,17
2Å2	943 996,70	134,13	639 050,40	90,80	192,04
2Z	891 812,50	126,71	676 351,80	96,10	245,90
2AL	891 153,10	126,62	676 351,80	96,10	248,36
2AK	889 810,50	126,43	675 648,00	96,00	252,26
2T	823 764,70	117,05	603 860,40	85,80	194,54
2AN	856 787,10	121,74	662 979,60	94,20	237,24
2AD	804 044,90	114,24	589 080,60	83,70	202,05
2AE	808 281,00	114,85	591 192,00	84,00	199,66
3A	132 9178,40	188,86	1 131 006,60	160,70	317,98
3B	902 129,30	128,18	552 483,00	78,50	189,44
3Å2	944 621,10	134,22	520 812,00	74,00	166,96
3Z	893 150,40	126,90	540 518,40	76,80	189,81
3AL	892 440,90	126,80	537 703,20	76,40	192,10
3AK	891 029,20	126,60	534 888,00	76,00	196,42
3T	824 668,50	117,17	491 252,40	69,80	153,37
3AN	899 028,70	127,74	538 407,00	76,50	182,33
3AD	804 912,80	114,37	469 434,60	66,70	158,10
3AE	809 168,50	114,97	475 065,00	67,50	167,05

Tabell K.2: Resultat av fornybar energiproduksjon for tiltakspakker med oppvarming og kjøling

Tiltak	Solceller [kWh]	Solfanger [kWh]	Grunn- varme [kWh]	Grunn- kjøling [kWh]	AHU [kWh]
1A	177 752,00		249 795,00	-721,10	1 748 357,00
1B	177 715,00		186 290,00	-1 082,00	2 357 468,00
1Å2	177 717,00		170 073,00	-203,40	1 022 119,00
1Z	177 723,00		189 345,00	-1 085,00	2 237 037,00
1AL	177 715,00		192 563,00	-1 025,00	2 167 762,00
1AK	177 723,00		195 243,00	-1 003,00	2 092 137,00
1T	177 724,00		163 675,00	-670,70	1 805 183,00
1AN	177 746,00		176 504,00	-617,20	2 014 995,00
1AD	177 729,00		172 386,00	-681,70	1 570 632,00
1AE	177 726,00		169 501,00	-686,90	1 637 345,00
2A	167 414,00	57 893,60			1 748 532,00
2B	167 409,00	57 377,00			2 358 562,00
2Å2	167 418,00	57 340,80			1 022 348,00
2Z	167 428,00	57 411,90			2 238 097,00
2AL	167 421,00	57 421,50			2 168 904,00
2AK	167 421,00	57 435,20			2 093 412,00
2T	167 406,00	57 375,80			1 806 175,00
2AN	167 412,00	57 309,10			2 015 398,00
2AD	167 433,00	57 380,30			1 571 929,00
2AE	167 417,00	57 356,00			1 638 561,00
3A	167 450,00	41 959,90	207 054,00	-805,50	1 748 547,00
3B	167 454,00	41 000,30	155 125,00	-1 179,00	2 358 614,00
3Å2	167 472,00	84 034,60	140 570,00	-342,40	1 022 386,00
3Z	167 457,00	41 151,40	157 776,00	-1 169,00	2 238 243,00
3AL	167 460,00	40 936,60	160 995,00	-1 166,00	2 169 064,00
3AK	167 458,00	84 173,80	163 639,00	-1 161,00	2 093 417,00
3T	167 456,00	40 921,70	134 501,00	-859,50	1 805 438,00
3AN	167 470,00	41 102,10	146 401,00	-802,30	2 015 391,00
3AD	167 467,00	83 797,40	143 182,00	-845,40	1 571 301,00
3AE	167 461,00	40 757,30	140 285,00	-850,00	1 637 925,00

Tabell K.3: Resultat av inneklima for tiltakspakker med oppvarming og kjøling

Tiltak	Maks T _o	Maksimal T _o i verste sone	Andel timer med ubehag	PPD	CO ₂ -konsentrasjon	Maks RF
	[°C]	[°C]	[%]	[%]	[ppm]	[%]
1A	24,56	25,60	6,00	12,06	489,84	57,67
1B	24,43	25,30	6,00	9,19	558,69	58,23
1Å2	24,48	25,10	6,00	9,78	584,64	57,98
1Z	24,42	25,3	6,00	10,03	565,39	58,33
1AL	24,41	25,30	6,00	10,92	567,39	58,31
1AK	24,40	25,30	7,00	11,94	568,73	58,35
1T	24,80	26,00	6,00	8,60	560,42	57,18
1AN	24,36	24,80	6,00	9,94	489,86	57,78
1AD	24,73	25,90	6,00	11,58	573,74	57,44
1AE	24,75	26,00	6,00	10,47	571,83	57,30
2A	24,58	25,50	6,00	12,05	490,01	57,60
2B	24,92	25,80	6,00	9,18	558,55	58,13
2Å2	24,47	24,90	6,00	9,81	584,81	57,85
2Z	24,90	25,80	6,00	10,02	565,32	58,24
2AL	24,89	25,80	6,00	10,92	567,33	58,23
2AK	24,87	25,80	7,00	11,93	568,67	58,36
2T	25,09	26,10	6,00	8,59	560,27	57,17
2AN	24,35	24,80	6,00	9,95	490,10	57,62
2AD	25,06	26,10	6,00	11,57	573,70	57,39
2AE	25,07	26,10	6,00	10,46	571,72	57,31
3A	24,55	25,30	6,00	12,06	489,85	57,75
3B	24,43	25,30	6,00	9,18	558,69	58,24
3Å2	24,47	24,90	6,00	9,77	584,67	57,99
3Z	24,42	25,30	6,00	10,03	565,42	58,33
3AL	24,41	25,30	6,00	10,92	567,42	58,36
3AK	24,40	25,30	7,00	11,94	568,74	58,44
3T	24,79	26,00	6,00	8,60	560,43	57,27
3AN	24,35	24,80	6,00	9,95	489,85	57,87
3AD	24,72	25,90	6,00	11,59	573,75	57,50
3AE	24,74	25,90	6,00	10,47	571,83	57,42

Tabell K.4: Resultat av beregning av nåverdi for tiltakspakker med oppvarming og kjøling

Tiltak	Energi- besparelse [kWh]	Kostnads- besparelse B [NOK/år]	Drift og vedlikehold V [NOK/år]	Investering I [kNOK]	Nåverdi- faktor	Nåverdi NV [kNOK]
1A	384 978,60	365 729,67	34 360,00	5 160,05	17,45	-805
1B	949 426,20	901 954,89	34 360,00	15 336,50	17,45	-3 651
1Å2	980 393,40	931 373,73	34 360,00	12 911,78	17,45	3 341
1Z	960 687,00	912 652,65	34 360,00	15 336,50	17,45	-3 465
1AL	964 909,80	916 664,31	34 360,00	5 798,60	17,45	6 143
1AK	967 725,00	919 338,75	34 360,00	7 741,58	17,45	4 247
1T	1 008 545,40	958 118,13	34 360,00	5 793,26	17,45	6 872
1AN	962 094,60	913 989,87	34 360,00	11 775,56	17,45	120
1AD	1 030 363,20	978 845,04	34 360,00	7 736,24	17,45	5 291
1AE	1 025 436,60	974 164,77	34 360,00	5 793,26	17,45	7 152
2A	180 172,80	171 164,16	32 400,00	6 261,23	17,45	-5 301
2B	819 223,20	778 262,04	32 400,00	16 437,68	17,45	-6 911
2Å2	865 674,00	822 390,30	32 400,00	14 012,97	17,45	338
2Z	828 372,60	786 953,97	32 400,00	16 437,68	17,45	-6 759
2AL	828 372,60	786 953,97	32 400,00	6 899,78	17,45	2 779
2AK	829 076,40	787 622,58	32 400,00	8 842,76	17,45	847
2T	900 864,00	855 820,80	32 400,00	6 894,44	17,45	3 986
2AN	841 744,80	799 657,56	32 400,00	12 876,74	17,45	-2 977
2AD	915 643,80	869 861,61	32 400,00	8 837,42	17,45	2 288
2AE	913 532,40	867 855,78	32 400,00	6 894,44	17,45	4 196
3A	373 717,80	355 031,91	34 360,00	7 104,17	17,45	-2 576
3B	952 241,40	904 629,33	34 360,00	17 280,63	17,45	-5 549
3Å2	983 912,40	934 716,78	34 360,00	14 855,91	17,45	1 455
3Z	964 206,00	915 995,70	34 360,00	17 280,63	17,45	-5 351
3AL	967 021,20	918 670,14	34 360,00	7 742,73	17,45	4 234
3AK	969 836,40	921 344,58	34 360,00	9 685,71	17,45	2 338
3T	1 013 472,00	962 798,40	34 360,00	7 737,39	17,45	5 009
3AN	966 317,40	918 001,53	34 360,00	13 719,69	17,45	-1 755
3AD	1 035 289,80	983 525,31	34 360,00	9 680,37	17,45	3 428
3AE	1 029 659,40	978 176,43	34 360,00	7 737,39	17,45	5 278

Tabell K.5: Resultat av klimagassberegninger for tiltakspakker med oppvarming og kjøling

Tiltakspakke	Levert energi [kWh/år]	Besparelse levert energi [kWh/år]	CO ₂ -faktor [gCO ₂ /kWh]	Besparelse klima [kg CO _{2eq} /år]
A	1 504 724,40			
1A	1 119 745,80	384 978,60	132,00	50 817,18
1B	555 298,20	949 426,20	132,00	125 324,26
1Å2	524 331,00	980 393,40	132,00	129 411,93
1Z	544 037,40	960 687,00	132,00	126 810,68
1AL	539 814,60	964 909,80	132,00	127 368,09
1AK	536 999,40	967 725,00	132,00	127 739,70
1T	496 179,00	1 008 545,40	132,00	133 127,99
1AN	542 629,80	962 094,60	132,00	126 996,49
1AD	474 361,20	1 030 363,20	132,00	136 007,94
1AE	479 287,80	1 025 436,60	132,00	135 357,63
2A	1 324 551,60	180 172,80	132,00	23 782,81
2B	685 501,20	819 223,20	132,00	108 137,46
2Å2	639 050,40	865 674,00	132,00	114 268,97
2Z	676 351,80	828 372,60	132,00	109 345,18
2AL	676 351,80	828 372,60	132,00	109 345,18
2AK	675 648,00	829 076,40	132,00	109 438,09
2T	603 860,40	900 864,00	132,00	118 914,05
2AN	662 979,60	841 744,80	132,00	111 110,31
2AD	589 080,60	915 643,80	132,00	120 864,98
2AE	591 192,00	913 532,40	132,00	120 586,28
3A	1 131 006,60	373 717,80	132,00	49 330,75
3B	552 483,00	952 241,40	132,00	125 695,86
3Å2	520 812,00	983 912,40	132,00	129 876,44
3Z	540 518,40	964 206,00	132,00	127 275,19
3AL	537 703,20	967 021,20	132,00	127 646,80
3AK	534 888,00	969 836,40	132,00	128 018,40
3T	491 252,40	1 013 472,00	132,00	133 778,30
3AN	538 407,00	966 317,40	132,00	127 553,90
3AD	469 434,60	1 035 289,80	132,00	136 658,25
3AE	475 065,00	1 029 659,40	132,00	135 915,04

Vedlegg L

Risikovurdering

NTNU	Kartlegging av risikofylt aktivitet			Utløst av	Nummer	Dato
				HMS-avd.	HMSRV2601	15.01.2018
HMS				Godkjent av		Erstatler
				Rektor		01.12.2006



Dato: 15.01.2018

Enhet: Institutt for Energi- og Prosesseteknikk

Linjeleder: Therese Løvås

Deltakere ved kartleggingen (m/ funksjon): Liv Irene Vatnestrøm Svendsen (Student), Hans Martin Mathisen (Veileder)

Kort beskrivelse av hovedaktivitet/hovedprosess: Masteroppgave for Liv Irene Vatnestrøm Svendsen (472127). Teknologi og driftsmoduser for å redusere energi- og effektbruk i omsorgssenter

Er oppgaven rent teoretisk? JA

«JA»: Beskriv kort aktiviteten i kartleggingskjemaet under. Risikovurdering trenger ikke å fylles ut. Dersom «JA»: betyr at veileder innesår for at oppgaven ikke inneholder noen aktiviteter som krever risikovurdering.

Signaturer: Ansvarlig veileder: 

Student: 

ID nr.	Aktivitet/prosess	Ansvarlig	Eksisterende dokumentasjon	Eksisterende sikringstiltak	Lov, forskrift o.l.	Kommentar

NTNU		Risikovurdering					
HMS				Utbildet av		Nummer	
				HMS-avd.		HMSRV2603	
				Godkjent av		Date	
				Rektor		15.01.2018	
						Ersatter	
						01.12.2006	

Enhet: Institutt for Energi- og Prosesseteknikk **Dato: 15.01.2018**

Linjeleder: **Therese Løvås**

Deltakere ved kartleggingen (m/ funksjon): **Liv Irene Vatnestrøm Svendsen (Student), Hans Martin Mathisen (Veileder)**

Risikovurderingen gjelder hovedaktivitet: **Masteroppgave for Liv Irene Vatnestrøm Svendsen (472127). Teknologi og driftsmoduser for å redusere energi- og effektbruk i omsorgssenter**

(Ansv. Veileder, student, evt. medveileder, evt. andre m. kompetanse)

Signaturer: **Ansvarlig veileder:**  **Student:** *Afra Vatnestrøm Svendsen*

ID nr	Aktivitet fra kartleggings-skjemaet	Mulig uønsket hendelse/ belastning	Vurdering av sannsynlighet (1-5)	Vurdering av konsekvens:			Risiko-Verdi (menneske)	Kommentarer/status Forslag til tiltak
				Menneske (A-E)	Ytre miljø (A-E)	Øk/ materiell dømmne (A-E)		

Sannsynlighet vurderes etter følgende kriterier: