

Etterprøving av løsninger for energiforsyning og inneklima i utvalgte forbildeprosjekter

Morten Olsen Kvitnes

Master i energi og miljø

Innlevert: juni 2015

Hovedveileder: Vojislav Novakovic, EPT

Medveileder: Frode Gjerstad, Enova SF
Natasa Nord, EPT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for energi- og prosessteknikk

Forord

Denne masteroppgaven er den avsluttende del ved sivilingeniørstudiet energi og miljø våren 2015 ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim. Oppgaven er en videreførelse av prosjektoppgaven som ble skrevet høsten 2014.

Hensikten med oppgaven er å danne grunnlaget for presentasjoner av 6 forbildeprosjekt. Forbildeprosjektene omfatter både nybygg- og rehabiliteringsprosjekter lokalisert i ulike klimasoner med ulike tekniske løsninger for energiforsyning og klimatisering. Analysen gjøres i simuleringsverktøyet IDA-ICE og verifiseres med målte eller tilgjengelige data fra prosjektene. Resultat fra denne presentasjonen skal så kunne brukes i Enovas portefølje av forbildeprosjekt på tilknyttede websider, samt en ny fagbok knyttet til effektiv bruk av energi i bygninger, som utgis på NTNU.

Jeg vil gjerne takke min veileder, professor Vojislav Novakovic ved institutt for energi- og prosessteknikk og medveileder Frode Olav Gjerstad i Enova SF for hjelp og innsamling av data til oppgaven. I tillegg har en rekke ulike bedrifter bidratt til innsamling av målte tall for energibehov til de ulike bygningene. Takk til Audun Bull Kristiansen og Natasa Nord for hjelp og veiledning i simuleringsverktøyet IDA-ICE.

Til slutt vil jeg takke alle medelever og forelesere som jeg har vært i kontakt med gjennom de 5 årene på NTNU, og som har gjort tiden min der minnerik.

Sammendrag

I denne masteroppgaven har 6 ulike bygninger blitt presentert og analysert ved ulike modeller i energi- og klimasimuleringsverktøyet IDA-ICE. Formålet med oppgaven er å belyse ulike sider ved energieffektivisering i bygninger, både gevinster og eventuelle utfordringer.

Analysen er med på å lage grunnlaget for presentasjoner av forbildeprosjektene i fagboken og på de tilknyttede web-sidene hos Enova.

Hoveddelen av oppgaven gikk ut på analysere de ulike bygningene ved å endre parametere karakteristiske for den spesifikke tekniske løsningen i simuleringsverktøyet. Det ble her forsøkt å representere ulike løsninger så godt som mulig, uten å analysere det samme for flere bygninger. For rehabiliteringen av boligblokken i Myhrerenga borettslag utenfor Oslo ble det valgt å fokusere analysen rundt bygningskroppen ved å simulere modeller med høyere U-verdier for vegger, tak, vinduer og dører, i tillegg til høyere kuldebroverdi og lekkasjetall. Dette resulterte blant annet i høyere varmetap gjennom bygningskroppen, som førte til høyere energi- og effektbehov. Endringen resulterte også i en økning av oppvarmingssesongen. I tillegg ble det valgt å se på innvirkningen for energibehovet ved en økning i kravet til innetemperatur.

For boligblokken i Miljøbyen Granåsen i Trondheim ble det valgt å fokusere analysen rundt påvirkningen av uteklimaet. Her viste modeller både for mildere og kaldere klima, representert ved Stavanger og Kiruna i Sverige, hvordan energibehovet til romoppvarming og oppvarming av ventilasjonsluft påvirkes. En markant økning i energibehovet ble vist for kaldere klima. På grunn av lave varmetap i bygninger med høy varmemotstand i vegger, vinduer og tak ble det for Vålandshaugen barnehage valgt å se på radiatorplassering, effektbehov og driftstid. Spesielt ble innklimaet analysert ved sentralt plasserte radiatorer. Resultatene viste at tilfredstillende innetemperatur ikke ble opprettholdt for hele året med den antatte radiatorplasseringen. For UNN Tromsø ble det valgt å analysere påvirkningen av virkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonssystemet. Dette ble analysert hovedsakelig på grunn av problemer med forurensning ved å benytte roterende varmegjenvinner og fare for smitte i sykehuset. Resultatene poengterer store forskjeller ved å benytte høy grad av varmegjenvinning på avtrekkslufta. I tillegg ble innvirkninger av å endre ventilasjonssystemet fra behovsstyring til konstante luftmengder sett på. For Powerhouse Kjørbo ble ventilasjonssystemet med overstrømning av tilluft fra soner med høy belastning til soner med mindre belastning analysert. Resultatene viste at energibehovet var svært lavt, men at soner hadde problem med for høye temperaturer for dimensjonerende sommerforhold. Det ble også

laget modeller for ulike ventilasjonssystem basert på behovsstyring og konstante luftmengder. Tilslutt ble det termiske inneklimate for Papirbredden II analysert med hovedfokus på solforhold, solskjerming og utnyttelse av eksponert betong som termisk masse. Som for Powerhouse Kjørbo hadde de ulike modellene problemer med overopphetning for dimensjonerende sommerforhold. Utnyttelse av betong som termisk masse viste blant annet at temperaturendringer brukte lengre tid for å oppnå likevekt. For oppvarmingssesongen resulterte dette i at temperaturen holdte seg høyere for natten, noe som reduserte nødvendig temperaturløft for oppvarmingen om morgenen.

I tillegg til å analysere ulike karakteristiske trekk ved de 6 bygningene, ble det gjort en sammenlignende analyse av bygningene med tanke på energi- og inneklimate basert på ulike klimaforhold, tekniske løsninger og bruk.

Resultatene viste at antagelser for internlast og temperaturkrav hadde større påvirkning enn klimaet bygningen befinner seg i. Ulikheter i energibehovet for bygningstype skyldes ulike krav til bruk. For eksempel har sykehus høyere krav til luftmengder enn boligbygninger. Levert energi for bygningene var videre sterkt avhengig av energiforsyningen og parametere for energidekningsgrad og gjennomsnittlig effektfaktor.

Siste del av oppgaven handlet om å foreslå hvordan resultater av analyser ska presenteres på de tilknyttede web-sidene hos Enova. Dette formidles direkte til Frode O. Gjerstad i Enova, og legges ikke ved som en del av oppgaven.

Abstract

In this thesis, 6 different buildings has been presented and analyzed represented by different models in the energy and climate simulation tool IDA-ICE. The purpose of the study was to examine various aspects of energy efficiency in buildings, positives and negatives. The models help create a basis for presentations of the buildings in the textbook and related to the Enova web pages.

The main part of the thesis was to analyze the buildings while changing parameters characteristic to the specific technical solution in the simulation tool. It was important to analyze different solutions, without analyzing the same parameters for each building.

For the rehabilitation of the residential block in Myhrerenga condominium outside Oslo it was chosen to focus the analysis around the building body by simulating models with higher U-values for walls, roof, windows and doors, as well as higher values for thermal bridges and leakage numbers. This resulted in a higher heat loss through the building body, which led to higher energy and power demand. The change also resulted in an increase of the heating season.

For the residential building in Miljøbyen Granåsen in Trondheim, it was decided to focus the analysis towards the impact of changing the outdoor climate. Models of the building based on both warmer and colder climate were made, while energy demand for space heating and heating of ventilation air was analyzed. A significant increase in energy demand was shown for the colder climate. Due to low heat loss in buildings with high heat resistance, it was chosen to analyze radiator placement, power requirements and operating conditions. The results showed that satisfactory indoor temperature was not maintained throughout the year with the assumed radiator placement. For UNN Tromsø, it was chosen to analyze the impact of the efficiency of the heat recovery unit in ventilation system. This was analyzed mainly due to problems with pollution by using regenerative heat recovery units, and risk of infection spreading in the hospital. The change results in major differences by utilizing high degree of heat recovery of the exhaust air. In addition, the effects of changing the ventilation system from demand controlled to constant airflows were seen. For Powerhouse Kjørbo the ventilation system with overflow of supply air from zones with higher loads to zones with less loads was analyzed. The results showed that the energy demand was very low, but that the zones had problems with high temperatures for dimensioning summer conditions. Different models were also made for different ventilation systems based on demand control and constant air flow. Finally, the thermal climate for Papirbredden II was analyzed with respect to

solar conditions, shading and use of exposed concrete as thermal mass. As for Powerhouse Kjørbo the different models experienced problems with overheating for dimensioning summer conditions. Exploiting concrete as thermal mass reduced the time of temperature change in the zones. The temperature changes took longer to reach a state of equilibrium. For the heating season, the temperature was held at a higher level for the night, which reduced the required temperature lift for heating in the morning.

In addition to analyzing the various characteristics of the 6 buildings, it was made a comparative analysis of the buildings in terms of energy and indoor air quality performance based on different climate conditions, technical solutions and use.

The results showed that the assumptions for internal loads and temperature requirements had greater impact than the the climate. Differences in energy demand for the building type was due to different requirements of use. For example, hospitals have higher requirements for airflows than residential buildings, which resulted in higher energy demand.

Delivered energy for buildings was further heavily dependent on energy supply and parameters for energy coverage and average COP.

The last part of the task was to suggest how the results of the analysis were to be presented on the related web pages by Enova. This is communicated directly with co supervisor Frode O. Gjerstad at Enova and will not be attached as part of the thesis.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Sammendrag	ii
Abstract.....	iv
Tabell- og figurliste	viii
1. Innledning.....	1
1.1 Disposisjon	1
1.2 Hensikt og mål.....	1
1.3 Metode og avgrensninger.....	2
2. Simuleringsverktøy for energi og inneklime.....	3
2.1 Valg av simuleringsverktøy	4
2.2 IDA-ICE	6
2.3 SIMIEN	7
2.4 Andre simuleringsverktøy.....	7
3. Presentasjon og analyse av forbildeprosjekt.....	9
3.1 Myhrerenga borettslag.....	11
3.1.1 Bygningskonstruksjon	11
3.1.3 Energiforsyning, ventilasjon og bruk	12
3.1.3 Energi- og klimasimulering i IDA-ICE.....	14
3.2 Boligblokk Miljøbyen Granåsen.....	22
3.2.1 Bygningskonstruksjon	22
3.2.2 Energiforsyning, ventilasjon og internlast.....	23
3.2.3 Energi- og klimasimulering i IDA-ICE.....	24
3.3 Vålandshaugen barnehage	29
3.3.1 Bygningskonstruksjon	29
3.3.2 Energiforsyning, ventilasjon og internlast.....	31
3.3.3 Energi- og klimasimulering i IDA-ICE.....	32
3.4 Universitetssykehuset Nord-Norge, UNN Tromsø	41
3.4.1 Bygningskonstruksjon	41
3.4.2 Energiforsyning, ventilasjon og bruk	42
3.4.3 Energi- og klimasimulering i IDA-ICE.....	43
3.5 Powerhouse Kjørbo	54
3.5.1 Bygningskonstruksjon	55
3.5.2 Energiforsyning, ventilasjon og bruk	55

3.5.3	Energi- og klimasimulering i IDA-ICE.....	59
3.5.4	Analyse av termisk inneklima Powerhouse Kjørbo	60
3.6	Papirbredden II.....	70
3.6.1	Bygningskonstruksjon	71
3.6.2	Energiforsyning, ventilasjon og bruk	72
3.6.4	Analyse av termisk inneklima Papirbredden II	75
3.6.4.1	<i>Simulering 2 –Utvendig solskjerming.....</i>	80
3.6.4.2	<i>Simulering 3 – Modell uten eksponert betong som termisk masse i himling</i>	82
4.	Sammenlignende analyse.....	84
5.	Referanseliste	88
	Vedlegg A, Myhrerenga borettslag.....	90
	Vedlegg B, Boligblokk Miljøbyen Granåsen.....	92
	Vedlegg C, Vålandshaugen barnehage.....	94
	Vedlegg D, UNN Tromsø	95
	Vedlegg E, Powerhouse Kjørbo	96
	Vedlegg F, Papirbredden II	104

Tabell- og figurliste

Tabelliste	Side
Tabell 2-1 : Ulike simuleringsverktøy for energi- og inneklimatesting i bygninger basert på formål og muligheter	5
Tabell 3-1 : Inndata bygningstekniske data Myhrerenga borettslag	12
Tabell 3-2 : Inndata energiforsyning Myhrerenga borettslag	13
Tabell 3-3 : Inndata for ventilasjon og internlaster Myhrerenga borettslag	14
Tabell 3-4 : Bygningstekniske data for modell i simulering 3 Myhrerenga borettslag	18
Tabell 3-5 : Inndata bygningstekniske data Miljøbyen Granåsen H1	23
Tabell 3-6 : Inndata energiforsyning Miljøbyen Granåsen H1	23
Tabell 3-7 : Inndata ventilasjon og internlaster Miljøbyen Granåsen H1	24
Tabell 3-8 : Inndata bygningstekniske data Vålandshaugen barnehage	30
Tabell 3-9 : Inndata energiforsyning Vålandshaugen barnehage	31
Tabell 3-10: Inndata ventilasjon og internlaster Vålandshaugen barnehage	32
Tabell 3-11: Inndata bygningstekniske data UNN Tromsø	42
Tabell 3-12: Inndata energiforsyning UNN Tromsø	42
Tabell 3-13: Inndata ventilasjon og internlaster Unn Tromsø	43
Tabell 3-14: Inndata bygningstekniske data Powerhouse Kjørbo	55
Tabell 3-15: Inndata energiforsyning Powerhouse Kjørbo	57
Tabell 3-16: Inndata ventilasjon og internlaster Powerhouse Kjørbo	58
Tabell 3-17: Bygningskomfort basert på temperatur i soner Powerhouse Kjørbo	68
Tabell 3-18: Inndata bygningstekniske data Papirbredden II	72
Tabell 3-19: Inndata energiforsyning Papirbredden II	72
Tabell 3-20: Inndata ventilasjon og internlaster Papirbredden II	73

Figurliste	Side
Figur 2-1 : Dataflyt for simuleringsverktøy	4
Figur 3-1 : Rehabiliterert boligblokk Myhrerenga borettslag	11
Figur 3-2 : Spesifikk levert energi Myhrerenga borettslag	15
Figur 3-3 : Varighetskurve for luftmengder, standard modell Myhrerenga borettslag	15
Figur 3-4 : Gjennomsnittlig effektbehov for endret temperaturnivå Myhrerenga borettslag	17
Figur 3-5 : Spesifikk levert energi for endring av bygningskomponenter Myhrerenga borettslag	18
Figur 3-6 : Varighet romoppvarming og varmebatteri for standard modell og modell med endret bygningskomponenter Myhrerenga borettslag	19
Figur 3-7 : Spesifikk levert energi endret kuldebroverdi og lekkasjetall Myhrerenga	20
Figur 3-8 : Netto spesifikk levert energi for de ulike modellene Myhrerenga borettslag	21
Figur 3-9 : Boligblokk H1 Miljøbyen Granåsen	22
Figur 3-10: Spesifikk levert energi Miljøbyen Granåsen	25
Figur 3-11: Varighet utetemperatur ved ulike klima for modellene Miljøbyen Granåsen	26
Figur 3-12: Spesifikk levert energi for modeller med endret klima og temperaturkrav Miljøbyen Granåsen	27
Figur 3-13: Netto spesifikk levert energi for de ulike modellene Miljøbyen Granåsen	28
Figur 3-14: Perspektiv Vålandshaugen barnehage	29
Figur 3-15: Spesifikk levert energi Vålandshaugen barnehage	33
Figur 3-16: Varighet utetemperaut Stavanger	34
Figur 3-17: Operativ temperatur for standard modell og sentralt plasserte radiatorer dimensjonerende vinterforhold Vålandshaugen barnehage	35
Figur 3-18: Operativ temperatur i sone for ulike modeller for effekt og settpunkt Vålandshaugen barnehage	36
Figur 3-19: Operativ temperatur for modell med endret personbelastning Vålandshaugen barnehage	37
Figur 3-20: Operativ temperatur i sone ved kombinasjon av tiltak Vålandshaugen barnehage	38
Figur 3-21: Gjennomsnittlig effekt romoppvarming for de ulike modellene gjennom året Vålandshaugen barnehage	39
Figur 3-22: Spesifikk brukt energi romoppvarming for de ulike modellene Vålandshaugen barnehage	40
Figur 3-23: Illustrasjon av ny A-fløy UNN Tromsø	41
Figur 3-24: Spesifikk levert energi UNN Tromsø	44
Figur 3-25: Spesifikk levert energi for endret virkningsgrad varmegjenvinner UNN	46
Figur 3-26: Effekt varmebatteri gjennom året ved ulik virkningsgrad på varmegjenvinner UNN Tromsø	47
Figur 3-27: Varighetskurve for luftmengder for modellen med CAV og VAV UNN Tromsø	49
Figur 3-28: Spesifikk levert energi for modell med VAV UNN Tromsø	50
Figur 3-29: Spesifikk levert energi for modell med VAV og redusert virkningsgrad på varmegjenvinner UNN Tromsø	51
Figur 3-30: Effekt varmebatteri gjennom året for modell med VAV og redusert virkningsgrad på varmegjenvinner UNN Tromsø	51
Figur 3-31: Spesifikk levert energi for modell med VAV og økt personbelastning UNN Tromsø	52
Figur 3-32: Netto spesifikk levert energi for de ulike modellene UNN Tromsø	53

Figur 3-33: Powehouse Kjørbo i Sandvika	54
Figur 3-34: Monterte solcellepanel Powerhouse Kjørbo	56
Figur 3-35: Spesifikk levert energi for modellen og målte verdier Powerhouse Kjørbo	59
Figur 3-36: Temperaturfordeling i kontor på ukeshbasis (øverst) og dagsbasis (nederst) for dimensjonerende sommerforhold Powerhouse Kjørbo	61/60
Figur 3-37: Temperaturfordeling i landskap på ukeshbasis (øverst) og dagsbasis (nederst) for dimensjonerende sommerforhold Powerhouse Kjørbo	62
Figur 3-38: Skjermdump av soneinndeling med inndeling av ventilasjonsprinsipp Powerhouse Kjørbo	64
Figur 3-39: Spesifikk levert energi for overstrømning ved CAV og VAV Powerhouse Kjørbo	65
Figur 3-40: Spesifikk levert energi for modeller basert på CAV og VAV uten overstrømning	66
Figur 3-41: Energibehovet til vifter i ventilasjonssystemet for ulike modeller Powerhouse Kjørbo	67
Figur 3-42: Netto spesifikk levert energi for ulike modeller Powerhouse Kjørbo	69
Figur 3-43: Papirbredden II i Drammen	71
Figur 3-44: Spesifikk levert energi for modellen i IDA-ICE Papirbredden II	74
Figur 3-45: Spesifikk brukt energi Papirbredden II	75
Figur 3-46: Operativ temperatur for cellekontor ved dimensjonerende sommerforhold Papirbredden II	76
Figur 3-47: Operativ temperatur for cellekontor ved dimensjonerende vinterforhold Papirbredden II	78
Figur 3-48: Varighet operativ temperatur for cellekontor Papirbredden II	79
Figur 3-49: Solinnstråling gjennom vinduer for cellekontor dimensjonerende sommerforhold Papirbredden II	80
Figur 3-50: Energitilskudd cellekontor på årsbasis fra vinduer Papirbredden II	81
Figur 3-51: Varighet operativ temperatur for cellekontor med ulike modeller Papirbredden II	81
Figur 3-52: Energibalanse knyttet til vegger og masser i sonen for cellekontor , modell med eksponert betong i himling Papirbredden II	82
Figur 3-53: Energibalanse knyttet til vegger og masser i sonen for cellekontor , modell	83
Figur 4-1: Netto spesifikk levert energi for de ulike bygningene som analyseres i oppgaven	85
Figur 4-2: Netto brukt levert energi for de ulike bygningene som analyseres i oppgaven	86

1. Innledning

De 6 bygningene som presenteres og analyseres i oppgaven er som følger:

- Boligblokk Myhrerenga boretslag i Skedsmo kommune utenfor Oslo.
- Boligblokk Miljøbyen Granåsen i Trondheim.
- Vålandshaugen barnehage i Stavanger.
- Universitetssykehuset Nord-Norge (UNN) i Tromsø.
- Kontorbygninger Powerhouse Kjørbo i Bærum.
- Kontor- og flerfunksjonsbygning Papirbredden II i Drammen.

De ulike bygningene er forbildebygg fra Enovas portefølje og vil presenteres nærmere både i fagboken og på de tilknyttede web-sidene hos Enova. Forbildeprosjektene er et av Enovas virkemidler til å endre trenden i markedet og å bidra til raskere utviklingen mot mer energieffektive bygninger. Enova er bidratt med investeringsstøtte til prosjektene med tanke på energiytelse, først til forbildeprosjektene fra 2005 og fra 2010 til prosjektene knyttet til lavenergi- og passivhusprogrammene.

1.1 Disposisjon

Opgaven er delt opp i delkapittel som følger oppgavebeskrivelsen. Unntaket er sammenlignende analyse av de ulike bygningene som kommer etter den individuelle analysen av hvert enkelt bygg.

Først tar kapittel 2 tar for seg ulike simuleringsverktøy for energi- og inneklimatekst i bygninger. Kapittel 3 tar så for seg analysen av de 6 ulike bygningene. Hvert bygg presenteres først med konstruksjon- og systemparametere samt antagelser for modellen i simuleringsverktøyet. Helårssimulering sammenlignes så med tilgjengelige verdier for bygningen for å verifisere modellen. Ut fra resultater og karakteristiske elementer ved den spesifikke bygning, velges da parametere for den individuelle analysen. Dette gjøres for alle bygninger i ulike delkapitler. Kapittel 4 tar så for seg en sammenlignende analyse og baseres på ulikheter i klimaforhold og tekniske løsninger.

1.2 Hensikt og mål

Hensikten med oppgaven er å belyse den praktiske siden samt utfordringer som arbeidet med energieffektivisering byr på. Oppgaven skal danne grunnlaget for presentasjoner av

forbildeprosjektene i fagboken og for tilknyttede web-sidene til Enova. Analysen av de ulike bygningene representerer ulike bygningstyper i ulike klimasoner med forskjeller innen tekniske løsninger til energiforsyning og klimatisering. Slik representeres et stort spekter av ulike bygninger med forskjellige behov.

1.3 Metode og avgrensninger

Analysen for energi- og inneklimate gjøres i simuleringsverktøyet IDA-ICE. Datagrunnlaget for modellene av de ulike bygningene baseres på data gjort tilgjengelig av medveilder Frode Olav Gjerstad i Enova. Data stammer hovedsakelig fra prosjekteringsfasen for de ulike prosjektene, og dokument som Enova har mottatt i søkeprosessen for støtte til prosjektene. Datagrunnlaget og detaljnivået er forskjellig for de ulike prosjektene. Dette gjør at antagelser etter beste evne er gjort der det kreves. Typisk tilgjengelig detaljnivå for prosjektene inkluderer blant annet:

- U-verdier for bygningskomponenter inkludert kuldebroverdi, lekkasjetall samt utnyttelse av solskjerming og termisk masse.
- Dekningsgrad og årsvarmefaktor energiforsyning.
- Gjennomsnittlige luftmengder, virkningsgrad varmegjenvinner, SFP faktor for ventilasjonsanlegget.
- Gjennomsnittlige verdier for effektbehov og internlast fra belysning, teknisk utstyr og personbelastning.

I tillegg er verdier for bruksmønster og drift antatt etter prosjekterte verdier og krav i ulike standarder. Plantegninger for de ulike bygningene er gjort tilgjengelige både fra Enova og ulike bedrifter tilknyttet prosjektene. Disse danner grunnlaget for modellene og soneinndelingen. Simulerte verdier for energibehovet i modellene sammenlignes med tilgjengelige data. Disse stammer hovedsakelig fra energisimuleringer i simuleringsverktøyet SIMIEN. Knyttet til energiforsyningen er det ikke gjort noen analyse av energidekningsgrad og årsvarmefaktor utover verdier som er gjort tilgjengelig. Når levert energibehov analyseres legges dermed disse til grunn.

Oppgavens omfang gjør at den individuelle analysen hovedsakelig fokuseres rundt ett tema per bygning. Dette velges ut fra karakteristiske trekk ved den spesifikke tekniske løsningen og for potensielle tiltak for energieffektivisering. For noen av bygningene vil innvirkningen av inneklimate ha større fokus enn andre.

2. Simuleringsverktøy for energi og inneklima

Bruk av simuleringsverktøy knyttet til energiytelse og inneklima for ulike bygninger er ofte svært fordelaktig. I tidlig fase av et byggprosjekt danner simuleringer grunnlaget for optimalisering med tanke på energieffektivisering knyttet til ulike komponenter av bygget. Dette omhandler mulige valg innenfor energiforsyning, ventilasjon og konstruksjon. Slik blir det mulig å finne en total løsning som reduserer energibruk og dermed kostnader, samtidig som tilfredstillende inneklima opprettholdes. I tillegg til prosjekteringsfasen, kan simuleringsverktøy benyttes etter bygget er ferdigstilt. Her kan data sammenlignes med målte verdier for å avdekke eventuelle avvik.

De to simuleringstypenes krav til nøyaktighet er svært forskjellige. For simuleringer før bygget er ferdigstilt, avhenger resultatet hovedsakelig av designvalg. Dette skyldes at samme antagelser og forenklinger brukes for alle alternativ. Ved sammenligning av målte og simulerte verdier finnes i motsetning et mye større krav til nøyaktighet. For å sammenligne med målte verdier må simuleringsverktøyet kunne håndtere kompliserte data innenfor menneskets bruksmønster. Det er nettopp her de største forskjellene mellom de ulike verktøyene finnes (Maile et. Al, 2007).

For å lage en presis termisk modell som gjenspeiler virkeligheten, kreves en rekke inndata. Konstruksjonen av gulv, vegger, tak, vinduer og dører med tilhørende geometri danner grunnlaget for modellen. Geografisk beliggenhet med klimaprofil gir varmeavgivelsen med omgivelsene. Videre må internlaste fra utstyr, lys og mennesker defineres.

Varmeoverføringen endres så av solforhold og solinnstråling, termisk masse i bygget, ventilasjon og energiforsyning. Ulike varmeavgivere har ulike fordeler og ulemper.

Størst usikkerhet knyttes kanskje til bruksmønsteret for bygget. Nettopp hvordan mennesker bruker bygget. Benyttes behovsstyring via sensorer for lysbruk, ventilasjon og solskjerming?

Dersom simuleringsverktøyet har støtte for det, må inndata som dette defineres for å gjøre simuleringen så god som mulig. Dette stiller krav til data og andre generelle antagelser.

Vær- og klimadata baserer seg på tidligere innsamlet statistikk som lagres i databaser. Disse henviser ikke til et spesielt år, men benyttes som en generell statistisk referanse knyttet til det spesifikke klimaet (Maile et. Al, 2007). Dette vil naturligvis føre til større eller mindre forskjeller fra år til år. I tillegg er bruksmønster og internlaste i stor grad basert på antagelser. I simuleringsverktøy setter man her opp skjema for hvordan man tror bygningen brukes.

Denne endrer seg imidlertid fra dag til dag. Brukere må være klar over dette når de bruker

simuleringsverktøy, og samtidig være i stand til å avgjøre om disse er rimelige for den spesifikke simuleringen.

Den generelle dataflyten for de fleste simuleringsverktøy er representert i figur 2-1.

Programmene er ofte delt i to komponenter. Den ene er selve simuleringsmotoren, og den andre er det grafiske grensesnittet. Selve

simuleringsmotoren er ofte utviklet av

forskningsinstitusjoner mens

brukergrensesnittet ofte er utviklet av private

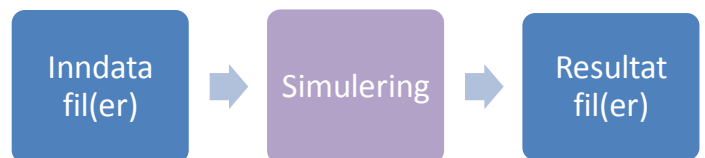
programvareleverandører. Innlesing av data

og grafisk fremstilling av resultater foregår i

det grafiske grensesnittet, mens selve

utregningene foregår i simuleringsmotoren

(Maile et. Al, 2007).



Figur 2-1 Dataflyt for simuleringsverktøy

2.1 Valg av simuleringsverktøy

Det finnes mange ulike simuleringsverktøy for energi- og inneklimate på markedet i dag.

Variasjoner i disse omfatter blant annet termodynamiske beregningsmodeller,

brukergrensesnitt og mulighet for utveksling med annen programvare. De senere årene har det

vært en økende trend av simuleringsverktøy med IFC-kompatibilitet. Dette gjør utveksling av

byggningsdata mellom BIM modeller og simuleringsverktøyet mulig (Bernhardsen et. Al,

2010)

Forskningssenteret for nullutslippbygninger (Zero Emission Buildings, ZEB) har gjennomført

en undersøkelse av hvilke simuleringsverktøy som er blitt brukt av SINTEF og NTNU. Denne

førte til en klassifisering basert på formål og muligheter som vist i tabell 2-1 (Nord et. Al,

2010).

Programnavn	Energibehov	System/ komponenter	Energiforsyning	CO ₂ total energibehov	LCA	Integrasjon
USELOAD	X					X
eTransport					X	X
EnergyPlus	X	X	X	X		X
TRNSYS	X	X	X	Mulig å utvikle		X
Simulink/ Matlab	Ligningsbasert				Mulig å utvikle	Mulig å utvikle
ESP-r	X	X	X			X
SIMIEN	X	X		X		
Modelica	Objekt-orientert, ligningsbasert					
ECOTECT	X				X	
GaBi 4					X	
COMSOL Multiphysics	X					X
VIP+	X	X		X		
PHPP	X					
IDA ICE	X	X		X		X
SIMBAD	X	X	X	X	Mulig å utvikle	Mulig å utvikle
Bsim	X	X				
Apache	X	X	X			

Tabell 2-1 Ulike simuleringsverktøy for energi- og inneklimatesting i bygninger basert på formål og muligheter

Valg av simuleringsverktøy avhenger direkte av hva som skal analyseres, og ulike programmer dekker ulike problemstillinger. En større oversikt over ulike simuleringsverktøy for energibruk i bygninger finnes på US Department of Energy, Building Energy Software Tool Directory (U.S. department of energy, 2015).

I følge Forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK10) skal beregninger av bygningers energibehov og varmetapstall utføres i samsvar med Norsk Standard NS 3031, Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data. Viktige inndata som settes krav til her omhandler blant annet driftstider, settpunkt-temperaturer for oppvarming og kjøling, internlaste,

klimadata og oppvarmet BRA. Standarden setter også krav til at bygningen deles inn i relevante soner for energiberegningen. For kontrollberegning mot offentlige krav, skal beregningssonene regnes som adiabatisk. Det vil si at standarden ikke stiller ikke krav til utregning av varmeoverføring mellom sonene. Dette må likevel gjøres for sammenligning med reell energibruk (NS 3031, 2011). Kravene i NS 3031 legger grunnlaget for hvilke simuleringstøysom brukeres i markedet. Dette påvirkes også av brukervennlighet og vanskelighetsgrad.

I Norge benyttes ulike simuleringstøysom for energi- og inneklimate, der noen er representert i tabell 2-2. Mye brukte verktøysom inkluderer blant annet SIMIEN, Vip-energy, EnergyPlus og IDA-ICE. I de neste delavsnittene presenteres noen av disse programmene.

2.2 IDA-ICE

IDA-ICE (IDA Indoor Climate and Energy) er et detaljert helårs dynamisk multisoner simuleringstøysom for analyse av energibruk og inneklimate (U.S. department of energy, 2015). Brukergrensesnittet i IDA-ICE er utformet for modellering av både enkle og mer avanserte bygninger. IDA-ICE baserer simuleringer på et høyt detaljnivå. Her modelleres den nøyaktig planløsningen for bygget på et sone-til-sonenivå, hvor man har stor frihet med plassering av enheter og komponenter inne i bygget. Dette kan være for eksempel plassering av radiatorer til oppvarming, plassering av varmeavgivende utstyr eller forurensningskilder, spesifikke ventilasjonsluftmengder, komponenter som møbler, vinduer og dører. IDA-ICE gir også mulighet for detaljert beregning av solinnstråling og solskjerming. Dette gir mulighet til å representere virkeligheten relativt godt. Vær- og klimafilere fra hele verden lastes ned og kobles til varmebalansen for bygningen.

IDA-ICE inkluderer en rekke predefinerte komponenter innen fornybar energi. Dette inkluderer blant annet borehullsystemer, varmepumper, solfangere, solceller til produksjon av elektrisitet, vindturbiner, CHP m.m. Tilleggspakker kan også installeres for flere variasjoner og mer avansert bruk, i tillegg til mulighet for modellering av egne varme og kjøleanlegg, kontrollsystem og AHU.

Resultat fra simuleringer kan overføres direkte til WORD eller EXCEL format, hvor kombinasjon av 3D representasjoner og omfattende tabeller gir god mulighet for tilbakemelding. IDA-ICE gir mulighet for enkel utregninger av ulike systemer, noe som gjør det effektivt å sammenligne og eksperimentere med forskjeller innen oppvarming, kjøling, luftmengder og energi. Resultat inneholder både data på anleggsnivå eller sonenivå. 3D

visualiseringer viser geometri, solskjerming, luftmengder og varmebalanse for vegger, gulv, tak og vindu. Hver sone inneholder her over 2000 tidsavhengige variabler hvor de fleste kan plottes om ønskelig (U.S. department of energy, 2015). Dette kan for eksempel være varmebalanser (inkludert spesifikke bidragsyttere), solinnstråling gjennom vinduer, CO₂ nivå, luftfuktighet samt komfortparameterne PPD og PMV.

En av svakhetene til IDA-ICE er at luftmengdeberegninger alltid utføres, noe som kan gjøre simuleringer tidkrevende. Praktisk er man derfor begrenset til under 200 soner.

Styrken til IDA-ICE er som nevnt fleksibiliteten i alle parametere som kan defineres. I tillegg har IDA-ICE store styker sammenlignet med andre simuleringsverktøy i en fleksibel arkitektur og soneinndeling. Det kan generelt sies at IDA-ICE er et brukervennlig program samtidig som det gis valgfrihet over det detaljnivå for modeller bruker måtte ønske. På tross av dette er programmet moderat brukt i Norge i dag.

IDA-ICE er bl.a. validert iht. CEN standard EN 15255:2007, EN 15265:2007, CIBSE TM33 og ANSI/ASHRAE Standard 140-2004.

2.3 SIMIEN

SIMIEN (SIMulering av Innemiljø og Energibruk i bygninger) er et simuleringsverktøy for beregning av energibruk, effektbehov og inneklime utviklet av det norske firma

ProgramByggerne ANS. I motsetning til IDA-ICE har SIMIEN ingen grafisk fremstilling av bygget. Relevante inndata for energiforsyning, bygningskropp og tekniske installasjoner plottes i listefunksjoner i programmet. Materialparametere defineres for hver enkelt fasade inkludert vinduer og dører. Deretter defineres internlaste, solskjerming, ventilasjon-og oppvarmingssystem, i tillegg til driftstider og klimaforhold. Resultater baserer seg her på bygningsnivå. Dette gjør at man må gjøre flere simuleringer dersom bygget er mere komplekst med forskjellige inndelinger (kontor, sykehus etc.).

Resultatet sammenlignes opp mot krav i teknisk forskrift, som videre gjør energimerking for bygget mulig dersom ønskelig (U.S. department of energy, 2015).

SIMIEN er et mye brukt energisimuleringsverktøy i Norge. Dette skyldes blant annet høy brukervennlighet, og lav læringskurve. Svakheten sammenlignet med andre verktøy er lavt detaljnivå i tillegg til dårlige sonemuligheter.

2.4 Andre simuleringsverktøy

EnergyPlus ble gitt ut i 2001 og er som IDA-ICE basert på varmebalanser for sone-nivå.

Programmet har imidlertid moderat til høy vanskelighetsgrad. EnergyPlus inkluderer

simulering på tidssteg mindre enn 1 time, og gjør det dermed mulig for detaljerte simuleringer. Programmet har også kompatibilitet for IFC modeller for overføring av geometri fra CAD programmer. På verdensbasis finnes ca 85000 kopier av programmet. Nylig er funksjoner som multison luftstrøm, elektrisk kraftsimulering, rapportering av brukt vann, samt data for nedbør og grunnvann lagt til. Programmet inneholder nedlastbare værdata for en rekke steder (U.S. department of energy, 2015).

RIUSKA er et energiberegningsprogram utviklet av det finske firmaet Granlund Software. Programmet er utviklet for å brukes til både prosjektering og drift av bygg, og gir mulighet for dynamiske beregninger av energibruk. Energiytelsen kan sammelignes opp mot krav i teknisk forskrift på samme måte som SIMIEN, og leses av programmet. RIUSKA er brukervennlig og har en enkel oppbygging. Har derimot ingen mulighet for egendefinerte HVAC systemer. Brukes i Europa, USA og Australia.

På grunn av fordeler nevnt i avsnitt 2.2 brukes det i denne oppgaven IDA-ICE som simuleringsverktøy som grunnlag for presentasjonen av de ulike byggene. Dette skyldes hovedsakelig mulighet for å endre de fleste ønskelige parametere på sonenivå.

3. Presentasjon og analyse av forbildeprosjekt

De 6 ulike bygningene som analyseres i oppgaven har forskjeller knyttet til bruk, klima, utforming av bygningskropp og tekniske løsninger for energiforsyning og ventilasjon.

Bygningene representerer både boligbygg og yrkesbygg og har forskjellige krav til inneklima og energibruk.

Boligbygninger domineres av et høyt energibehov knyttet til varmtvann. I tillegg er energibehovet relativt høyt for romoppvarming og elektrisitet til belysning og teknisk utstyr. I motsetning til de andre kategoriene er energibehovet til romoppvarming svært avhengig av bygningskroppen. Ved en god bygningskropp reduseres varmetapet gjennom vegger, vindu, dører og andre lekkasjepunkt, og gjør høy energibesparelse mulig.

Andre kjennetegn knyttet til boligbygninger er at energibehovet er sterkt avhengig av bruksmønster og individuelle preferanser. Mens noen trives med innetemperaturer på 22°C, ønsker andre 25 °C. En stor del av energieffektivisering knyttet i boligbygg er dermed knyttet til bevisstgjøring av energibruk og “sløsing” av energi.

Med forbedret bygningskropp økes også kravet til ventilasjon, og stiller høyere krav til planløsning og vindusplassering. God gjennomlufting og ventilasjon fører da til et godt inneklima, samtidig som energibehovet reduseres.

Av de utvalgte bygninger som analyseres i oppgaven, omfatter sykehus, barnehage og kontor forskjellige yrkesbygninger. Energiforbruket knyttet til yrkesbygninger har visse forskjeller sammenlignet med behovet til boligbygninger. Dette skyldes delvis at driftstiden er redusert, og delvis på grunn av forskjeller i behov og bruk. Med unntak av sykehus, sykehjem og hotell, har yrkesbygg lavere behov for varmtvann. Kontorbygninger har relativt stort elektrisitetbehov knyttet til belysning og teknisk utstyr. For å oppnå gode lysforhold samtidig som energibehovet reduseres, er det viktig med god planløsninger og plassering av vinduer. Alsaker (2007) viser at tilstedeværelsen for cellekontor i gjennomsnitt ligger på ca 70-75% gjennom drifttiden, mens tilsvarende undersøkelser av Mathisen et. Al (2007) viser til tilstedeværelser rundt 60-65%. Dette betyr at sensorer for behovsstyring av de tekniske løsningene resulterer i en stor energibesparelse.

For å oppnå godt inneklima, er riktig utforming og dimensjonering av ventilasjonssystem viktig i yrkesbygg. For å redusere energibehovet, er også god utnyttelse av avtrekkslufta via varmegjenvinner viktig. Ved å redusere trykktap i rørføringer og komponenter, reduseres energibehovet for vifter i ventilasjonssystemet. I motsetning til boligbygg, har visse typer yrkesbygg et større behov for å ta hånd om overskuddsvarme om sommeren. Viktige

løsninger på eventuelle kjøleproblem omhandler byggets orientering og planløsning, vindusplassering og solskjerming, utnyttelse av termisk masse, samt valg av utstyr som avgir mindre varme.

Analysen av de 6 ulike bygningene er basert på noen av disse kjennetegnene i tillegg til spesielle løsninger for den spesifikke bygningen. Analysen vil hovedsakelig fokuseres rundt energibruk og endringer ved å forandre systemene. På denne måten kan effekten av endringen framheves, og eventuelle sider ved energieffektivisering poengteres.

I tillegg til analyse basert på energibruk for ulike systemer, gjøres det for noen av bygningene en termisk analyse der dette ses på som nødvendig. Den termiske analysen vil da se på temperaturen i sonene, og sammenligne årsaker til eventuelle problemer med for høye eller lave temperaturer. Den termiske analysen er viktig for å vurdere inneklimate. Inneklimate er direkte koblet til flere faktorer som helse, trivsel og produktivitet, og er derfor et viktig tema for analysen av systemene. (Wargocki P et. Al, 2000)

Modellene for de ulike byggene er i hovedsak basert på prosjekterte verdier gjort i søknadsprosessen til støtte fra Enova. Ved tilgjengelige data sammenlignes også simulerte verdier for energibruk med målte verdier for driftsfase. Dette gjøres for å framheve forskjeller i simulerte og reelle verdier for energibruk.

For analysen velges det å representere energibehovet ved levert energi, altså medregnet gjennomsnittlig COP og energidekningsgrad for topp- og bunnlast. Dette gjøres for å poengtere virkningen av energiforsyningen, og energibesparelsen høye verdier for disse medfører. Det stilles imidlertid store usikkerheter til tallene som er basert på prosjekterte verdier og reelle tall under drift. Noen av figurene i analysen hentes direkte fra IDA-ICE, mens andre baseres på resultater og representeres i Excel.

I presentasjonen av bygningene velges det å sammenligne verdier for bygningskomponenter og tekniske løsninger med krav i passivhusstandard for boligbygg og yrkesbygg, NS 3700 og NS 3701. For flere av prosjektene var dette et gjennomgående mål, og basis for økonomisk støtte fra Enova.

3.1 Myhrerenga borettslag

Myhrerenga borettslag består av 7 like, paralelle boligblokker bygget i 1968-70 i Skedsmo kommune utenfor Oslo. Totalt består boligblokkene av 168 leiligheter, hvor hver blokk består av 24 leiligheter, 18 tre- roms og 6 to- roms. Disse har blitt rehabilitert med passivhuskomponenter og ble ferdigstilt i 2011 (Dokka, 2009).



Figur 3-1 Rehabiliteret boligblokk myhrerenga borettslag (Dokka, 2009)

Boligblokkene hadde opprinnelig et svært høyt energibehov på 275-300 kWh/m²år. Fasader bestod av trepanel og eternittplater og hadde et stort behov for fornyelse. I tillegg var bygningene dårlig isolerte og trekkfulle. Målet for rehabiliteringen var i utgangspunktet kun en 5 cm tilleggisolering på fasader. Gjennom SINTEF Byggforsk og EKSBO-prosjektet ble det imidlertid bestemt at en omfattende rehabilitering med passivhuskomponenter skulle gjøres. Målet ble å redusere det totale energiforbruket med 70%, med en reduksjon i oppvarmingsbehovet på 90%. Samtidig var det gjennomgående viktig at alle komponenter skulle brukes på en kostnadseffektiv måte. Til tross for store kostnadsinvesteringer var resultatet at beboerne skulle få en mindre husleieøkning sammenlignet med den tradisjonelle renoveringen (Dokka, 2009).

3.1.1 Bygningskonstruksjon

Boligblokkene er bygd i 3 etasjer og ligger i nord-sørgående retning. Leilighetene har hver sin balkong med utgangsparti vendt mot øst.

Før rehabilitering besto bæresystemet av betongelementer med bindingsverkfasader, der

vegger og tak var isolert med 100mm isolasjon. Etter rehabiliteringen har boligblokkene nå fått 200mm ekstra isolasjon i vegger samt 350mm innblåst isolasjon i taket.

Balkonger var opprinnelig utkraget og hadde kuldebryter på kun 1cm, som førte til store varmetap. Løsningen ble å rive de gamle balkongene, og nye utenpåliggende balkonger ble installert (Dokka, 2009).

Tabell 3-1 nedenfor viser bygningstekniske data som benyttes for simuleringer, samt sammenligning med krav i NS 3700 “Kriterier for passivhus og lavenergihus – Boligbygninger”.

Oversikt bygningstekniske data	Verdier	Krav passivhusstandard
U-verdi yttervegg, langvegg	0,12 W/m ² K	0,10-0,12 W/m ² K
U-verdi yttervegg, sidevegg	0,16 W/m ² K	0,10-0,12 W/m ² K
U-verdi, tak	0,10 W/m ² K	0,08-0,09 W/m ² K
U-verdi, gulv mot kjeller	0,19 W/m ² K	0,08 W/m ² K
U-verdi, gulv resterende	0,14 W/m ² K	0,08 W/m ² K
U-verdi, vindu	0,74 W/m ² K	0,80 W/m ² K
U-verdi, ytterdør	0,80 W/m ² K	0,80 W/m ² K
Lekkasjetall	0,71 h ⁻¹	0,60 h ⁻¹
Normalisert kuldebroyerdi ψ	0,025 W/m ² K	0,030 W/m ² K

Tabell 3-1 Inndata bygningstekniske data Myhrerenga borettslag

Nye vindu er installert av typen N-Tech passiv og har gjennomsnittlig U-verdi på 0,74 W/m²K. For lekkasjetallet var det vanskelig å oppnå ønsket verdi på grunn av byggets alder med store utettheter og utfordrende overganger. Tetthetsmålinger gjort av Paszkiewicz (2010) viser at resulterende lekkasjetall ble målt til 0,71 h⁻¹.

3.1.3 Energiforsyning, ventilasjon og bruk

Før rehabiliteringen hadde Myhrerenga borettslag et felles oppvarmingsanlegg med vannbåren varme i alle leiligheter, samt felles oppvarming av tappevann. Energiforsyningen til dette besto av en elektrisk kjel og en oljekjel.

Det samme fyrhuset benyttes i dag, men i stedet for elektrisitet og olje benyttes 4 stykk luft/vann varmpumper med en samlet effekt på 100kW. I tillegg til varmpumper, er det installert 44 CTC vakuumsolfangere på en av boligblokkene. Disse skal forsyne varme til romoppvarming og varmtvann til alle de 7 blokkene. Som topplast blir fortsatt de gamle el- og oljekjelene benyttet. Ny varmtvannsbereder samt nye radiatorer på 1400W er installert i hver bolig. I tillegg er det installert et omfattende styringssystem.

For energisimuleringen i IDA-ICE er det antatt at varmpumpa og solfangersystemet har en samlet gjennomsnittlig energidekningsgrad på 68% til romoppvarming, oppvarming av

ventilasjonsluft og varmt tappevann. Tallene baseres rundt prosjekterte verdier og er utarbeidet av Sintef og Norconsult i prosjekteringsfasen (Dokka 2009). Siden blokkene er bygd likt, er det i oppgaven kun fokusert på en av blokkene. Dette gjør at effekten fra varmepumpa og solfangerne blir delt på 7. Tekniske data for energiforsyningen er representert i tabell 3-2 nedenfor.

Oversikt energiforsyning	Verdier	Kommentar
Varmepumpe/solfangere som bunnlast	68% energidekningsgrad	Oppvarming ved sentralt plassert radiator.
Gjennomsnittlig COP	2,43	
Elektrisitet som topplast	32% energidekningsgrad	
Gjennomsnittlig COP	1,00	
Årlig spesifikt energibehov til varmtvann	29,8kWh/m ² år	
Innstallert effekt romoppvarming	1400W	Gjelder for hver leilighet.
Settpunkt oppvarming	21 °C	Settpunkt og driftstid er likt for alle soner. Om natten er krav til minimumstemperatur senket til 18 °C.
Driftstid oppvarming	16 h	

Tabell 3-2 Inndata energiforsyning Myhrerenga borettslag

For ventilasjonen er det i kjeller blitt installert nye ventilasjonsaggregat i hver blokk. Ventilasjonen er balansert og doble kryssvarmevekslere i serie sørger for god varmegjenvinning. Ventilasjonen baserer seg på konstante luftmengder (CAV) med trinnbryter for enkel mengderegulering. På grunn av usikkerhet knyttet til hvordan brukerne drifter systemet, er det valgt å basere modellen på ventilasjon med variable luftmengder (VAV) og sensorer for CO₂- og temperatur. Gjennomsnittlige luftmengder (dag og år), SFP faktor og virkningsgrad for varmegjenvinnere er utarbeidet av Sintef i forprosjektet, og er gjengitt i tabell 3-3 under (Dokka, 2009).

Oversikt ventilasjon og internlast	Verdier	Krav passivhusstandard
Varmegjenvinner	79% virkningsgrad	80% virkningsgrad
SFP-faktor	1,5 kW/(m ³ /s)	1,5 kW/(m ³ /s)
Gjennomsnittlige luftmengder	1,5 m ³ /m ² h	0,7 m ³ /m ² h for tomme rom
Maksimal luftmengder	6,5 m ³ /m ² h	1,2 m ³ /m ² h for drift
Minimale luftmengder	0,9 m ³ /m ² h	
Settpunkt kjøling	25°C	Ingen ventilasjonskjøling. Gjelder for lufting vinduer.
Driftstid ventilasjon	24 h	
Effektbehov belysning, dri	2,00 W/m ²	1,95 W/m ²
Internlast belysning	2,00 W/m ²	1,95 W/m ²
Effektbehovt teknisk utstyr	3,00 W/m ²	3,00 W/m ²
Internlast teknisk utstyr	1,80 W/m ²	1,80 W/m ²
Gjennomsnittlig personbelastning	4,00 W/m ² (0,04 person/m ²)	1,5 W/m ²

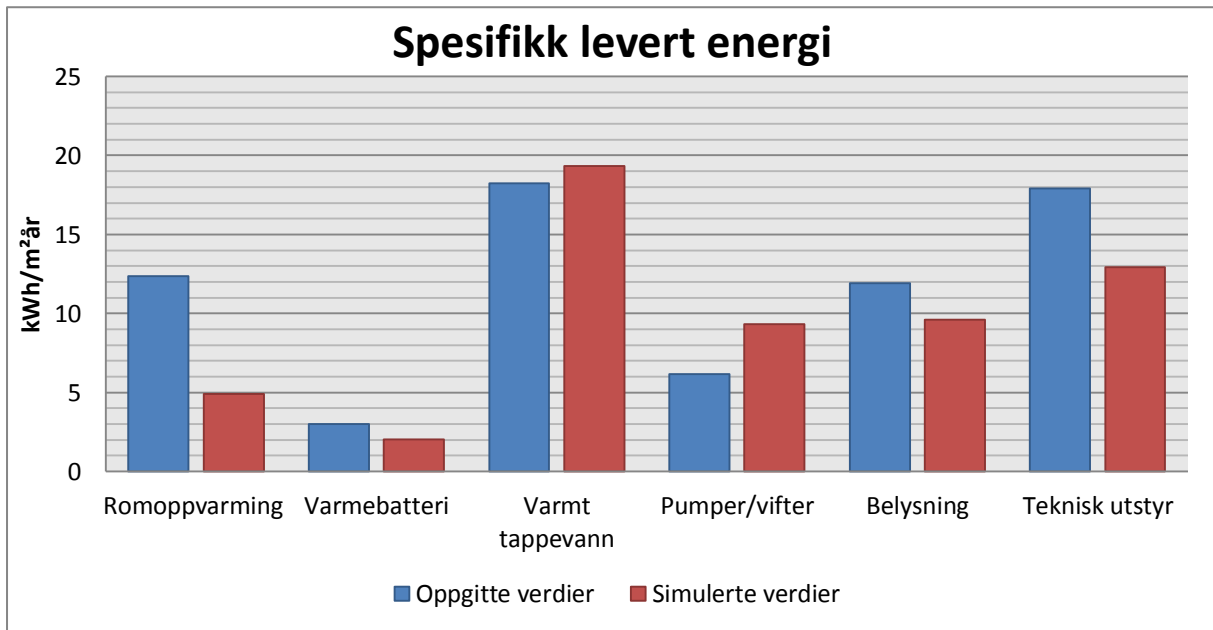
Tabell 3-3 Inndata for ventilasjon og internlast Myhrerenga borettslag

For gjennomsnittlig effektbehov til belysning og teknisk utstyr under drift er det i simuleringer antatt henholdsvis 2 og 3 W/m². Driftstiden er fordelt over 10 timer i døgnet. Her er det antatt at lys og utstyr er slått av for arbeidstiden. I leiligheter med 2 soverom, er det antatt 3 personer, mens 2 personer er antatt for leiligheter med 1 soverom. Dette utgjør en personbelasning på ca 0,04personer/m².

3.1.3 Energi- og klimasimulering i IDA-ICE

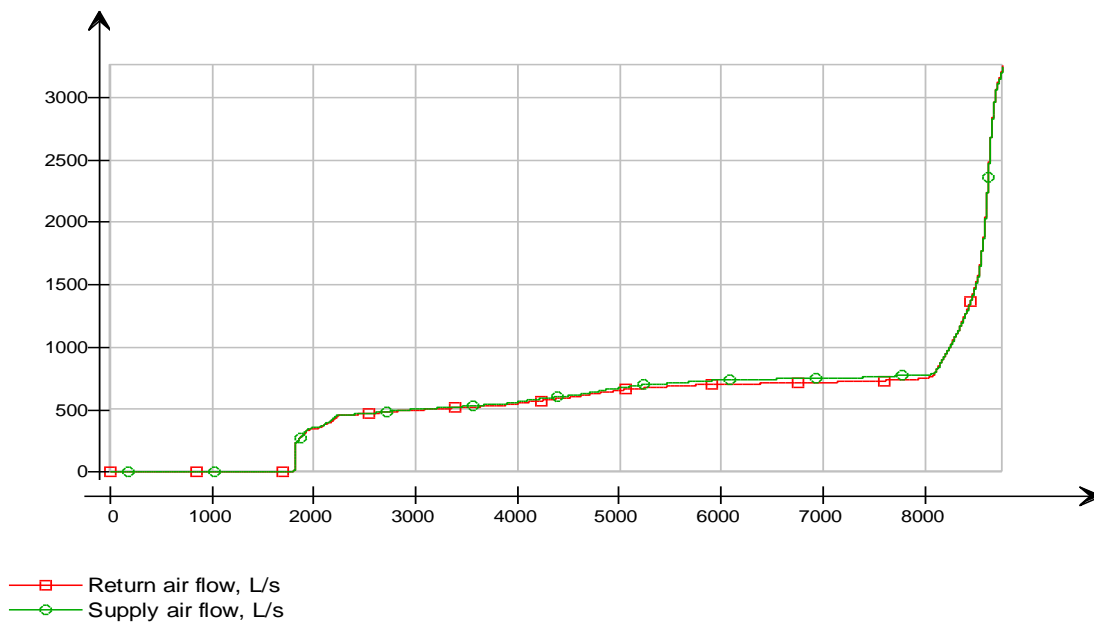
Soneinndelingen for modellen er basert på at hver leilighet deles inn i 2 soner i tillegg til trappeoppgang mellom leilighetene. For å redusere simuleringstid og antall soner, er bad og kjøkken slått sammen til en sone. Dette er også gjort for soverom, stue, gang og bod. Soner i kjeller er uoppvarmet og er mest ment for å få riktig varmeoverføring med første etasje, selv om enkelte soner er antatt å bruke noe elektrisitet til belysning og utstyr. Figur 3-2 nedenfor viser spesifikk levert energi til blokken. Verdier for modellen i IDA-ICE er sammenlignet

med oppgitte verdier fra prosjekteringsfasen.



Figur 3-2 Spesifikk levert energi Myhrerenga borettslag

Resultater fra simuleringen viser enkelte ulikheter sammenlignet med oppgitte verdier. Hovedsakelig er dette tilknyttet energibehovet til romoppvarming og vifter i ventilasjonssystemet. Energibehovet til romoppvarming for simuleringen er i stor grad avhengig av valgte minimumstemperaturer gjennom døgnet, noe som kan føre til forskjeller fra prosjekterte verdier. Simulerte verdier i modellen er videre noe høyere for vifter i ventilasjonssystemet. Figur 3-3 nedenfor viser varighet for totale luftmengder for bygget.



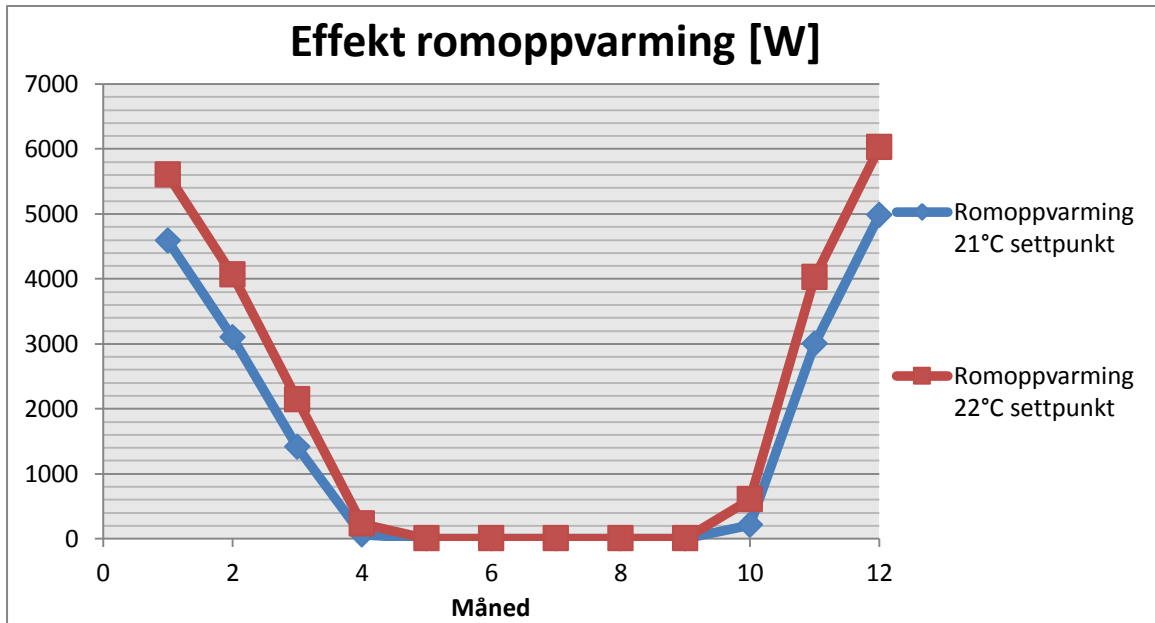
Figur 3-3 Varighetskurve for luftmengder i ventilasjonssystemet, standard modell

Resulterende gjennomsnittlige luftmengder for tilluft og avtrekk er $2036 \text{ m}^3/\text{h}$, tilsvarende $1,31 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, og er noe lavere enn prosjekterte verdier på $1.5 \text{ m}^3/\text{hm}^2$. Dette skyldes valgte verdier for luftmengder og drift i systemet. Til tross for lavere luftmengder, er altså energibehovet til vifter lavere enn oppgitte verdier. En konsekvens av reduserte luftmengder er at sonene påvirkes ved en reduksjon i energibehovet til varmebatteriet og romoppvarmingen. Dette skyldes tilluftstemperaturen for tillufta er lavere enn settpunktet for romtemperaturen. Energiforbruket til belysning og teknisk utstyr er videre noe lavere, og skyldes sonedefineringen. Soner med personbelastning har likevell det samme energibehovet og varmetilskuddet definert i tabell 3-3.

For å bevisstgjøre brukerne på energibruken i boligblokkene, er det installert målere for romoppvarming og oppvarming av varmt tappevann. Med antagelse om lik dekningsgrad og gjennomsnittlig COP for oppvarmingssystemet er levert spesifikk energi under drift knyttet til romoppvarming og oppvarming av varmt tappevann summert til $89 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{år}$ for 2014 (Heatline, 2015). Dette er altså mye høyere enn modellerte verdier summert til $24 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{år}$. Dataene viser at energibehovet til romoppvarming og oppvarming av varmt tappevann er svært utsatt for endringer i bruksmønsteret. Hovedpunkter knyttet til forskjeller i romoppvarmingen skyldes individuelle krav til temperaturnivå, samt sløsing av varme ved luftning (Halvorsen og Dalen, 2012). På grunn av dette analyseres først innvirkningen av å øke temperaturnivået for boligblokka. I tillegg analyseres endringer i bygningkonstruksjonen, spesifikt endringer tilknyttet U-verdier, kuldebroer og lekkasjetall. Disse påvirker bygningskroppen ved å øke transmisjons og infiltrasjonsvarmetapene til bygget.

3.1.3.1 Simulering 2 – Effekt av å endre temperaturnivå

For å simulere et høyere krav til innetemperatur, endres nå modellen ved å øke settpunktet for romoppvarming fra 21°C til 22°C. Figur 3-4 nedenfor viser en sammenligning av gjennomsnittseffekten knyttet til romoppvarming for de 2 modellene på månedsbasis.



Figur 3-4 Gjennomsnittlig effektbehov for endret temperaturnivå Myhrerenga borettslag

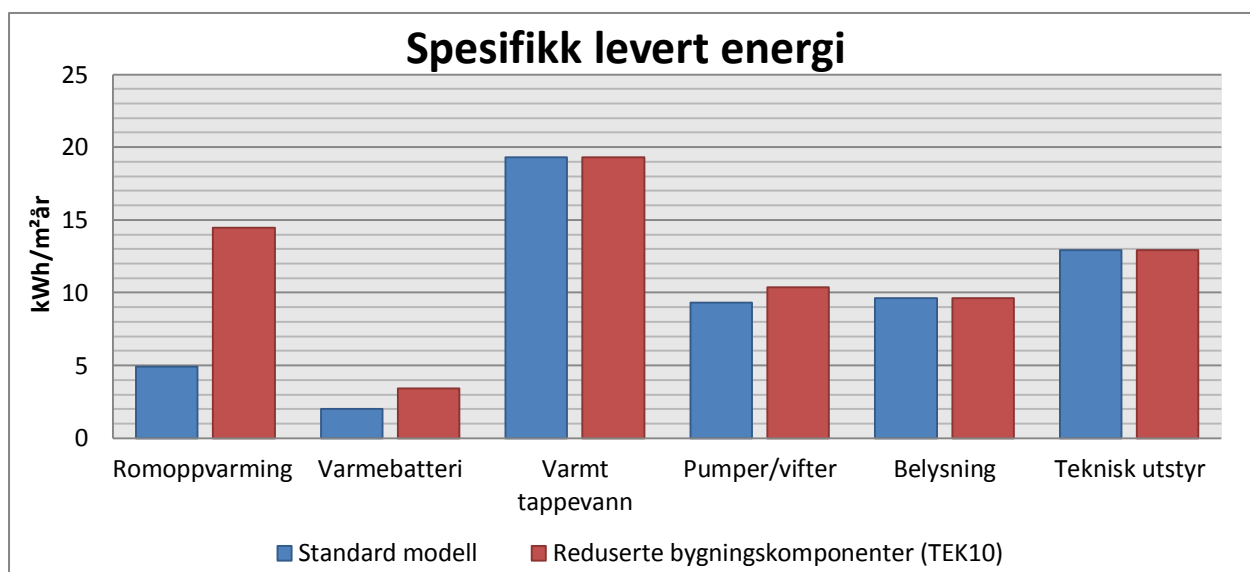
Totalt sett økes levert energi til romoppvarming fra 4,9 til 6,4 kWh/m²år noe som tilsvarer en økning på 31%. Dette må ansees som en betydelig andel knyttet til 1°C økning i romtemperaturen. En av svakhetene ved modellen er at den ikke tar hensyn til eventuelle utluftninger og raske temperaturendringer forårsaket av brukere. Et eksempel på dette er oppvarming samtidig som vinduer og dører holdes åpne. Ved at modellen bare holder seg til temperatursettpunkt for minimum og maksimum, fungerer den på denne måten som et “best case” knyttet til energibehov.

3.1.3.2 Simulering 3 – Bygningskomponenter etter krav i TEK10

Modellen endres nå ved å introdusere komponenter som øker varmetapet gjennom bygningskroppen sammenlignet med den opprinnelige modellen. Dette gjøres for å se innvirkningen på energibehovet. Til den nye modellen benyttes bygningskomponenter etter minstekrav fra norsk plan- og bygningslov TEK10. Tabell 3-4 på neste side viser verdier for de 2 modellene. Resulterende spesifikk levert energi sammenlignes med den opprinnelige modellen i figur 3-5.

Oversikt bygningstekniske data	Gammel modell	Ny modell
U-verdi yttervegg, langvegg	0,12 W/m ² K	0,22 W/m ² K
U-verdi yttervegg, sidevegg	0,16 W/m ² K	0,22 W/m ² K
U-verdi, tak	0,10 W/m ² K	0,18 W/m ² K
U-verdi, gulv mot kjeller	0,19 W/m ² K	0,18 W/m ² K
U-verdi, gulv resterende	0,14 W/m ² K	0,18 W/m ² K
U-verdi, vindu	0,74 W/m ² K	1,60 W/m ² K
U-verdi, ytterdør	0,80 W/m ² K	1,60 W/m ² K
Lekkasjetall	0,71 h ⁻¹	3,00 h ⁻¹
Normalisert kuldebroverdi ψ	0,025 W/m ² K	0,06 W/m ² K

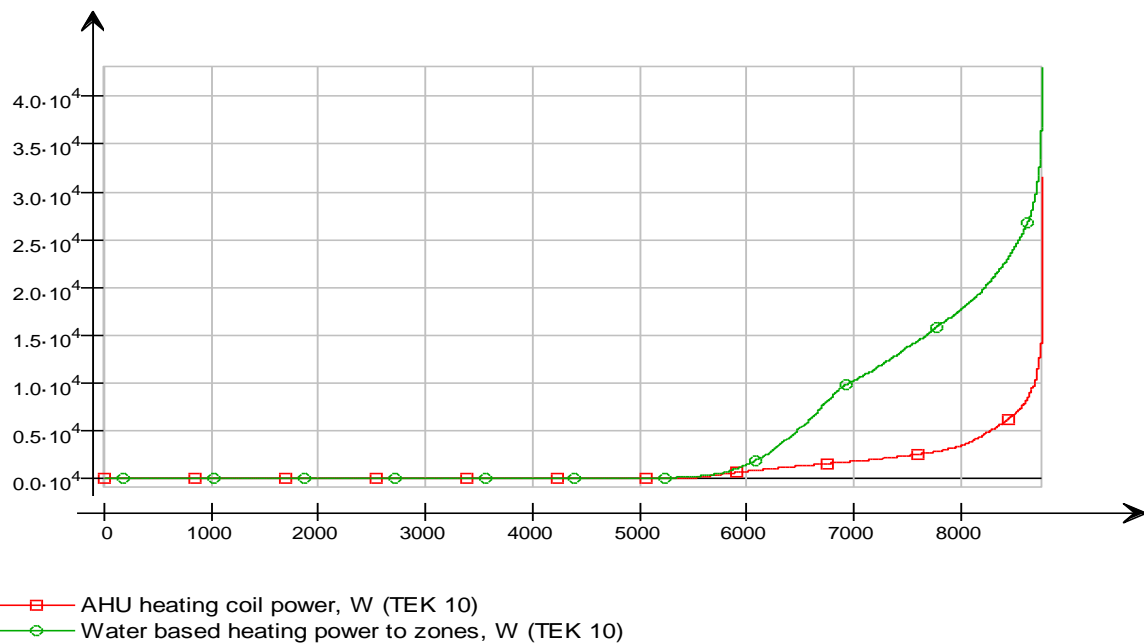
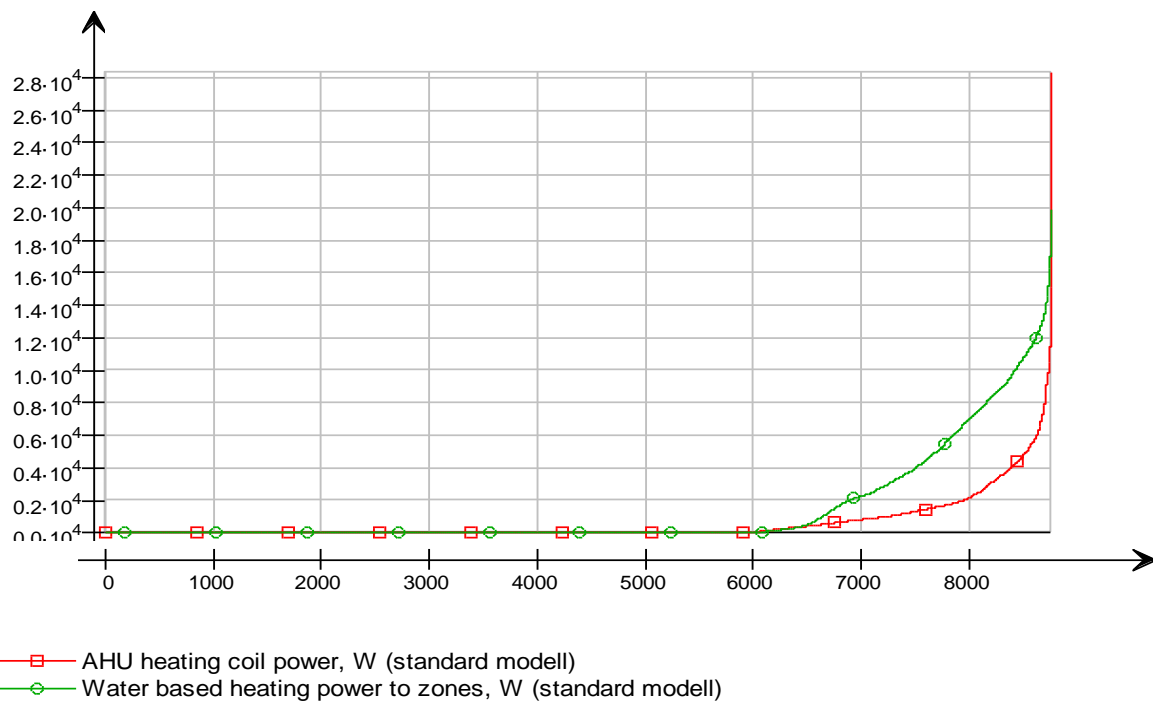
Tabell 3-4 Bygningstekniske data for modell i simulering 3 Myhrerenga borettslag



Figur 3-5 Spesifikk levert energi for endring av bygningskomponenter Myhrerenga borettslag

Resultatene viser en markant økning for romoppvarming i tillegg til en liten økning knyttet til oppvarming av tillufta og vifter i ventilasjonssystemet. For å sammenligne de to modellene på sonenivå viser Vedlegg A varmembalansen for hjørneleilighet i 2. etasje for begge modellene. Disse viser et høyere varmetap gjennom yttervegger, kuldebroer og vinduer. I tillegg er varmetransporten gjennom innvendige vegger større enn for standardmodellen, som skyldes en jevnt lavere temperatur for soner uten oppvarming. På grunn av økning i varmetapet må dette kompenseres med høyere energibehov til romoppvarming.

Figur 3-6 viser varighet for romoppvarming og oppvarming av ventilasjonsluft for de to modellene.



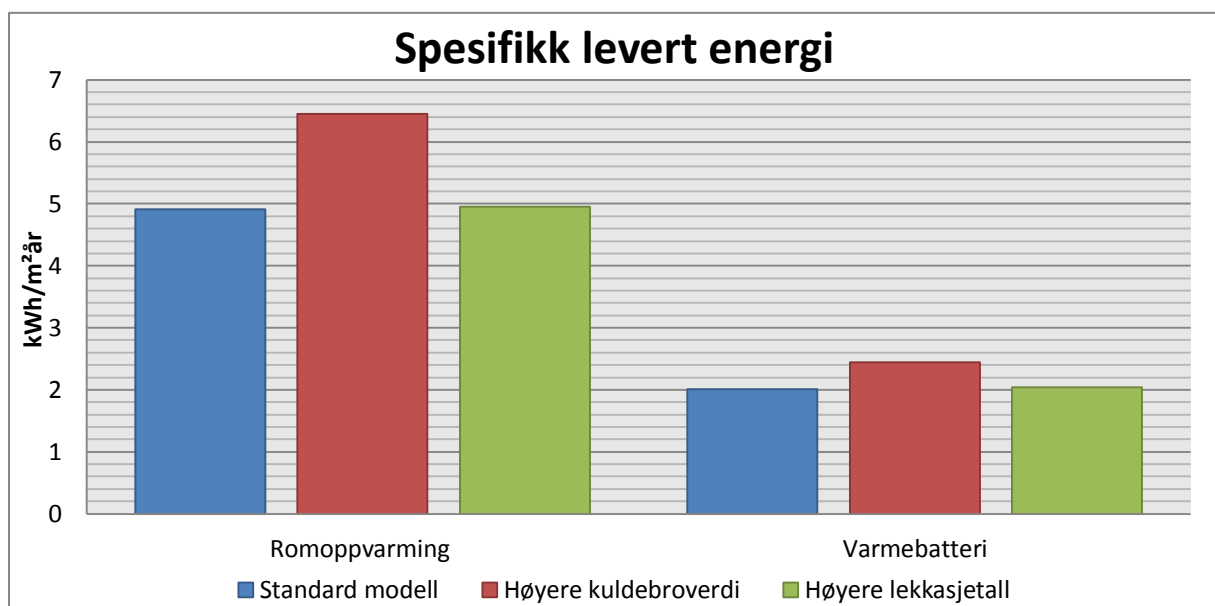
Figur 3-6 Varighet romoppvarming og varmebatteri for standard modell og modell med endret bygningskomponenter Myhrerenga borettslag

Ved å redusere varmemotstanden (øke u-verdier) for bygningskomponentene viser varighetsdiagrammene både en økning i energibruk, representert som areal under grafene, samt en betydelig økning i effektbehovet. I tillegg strekker oppvarmingssesongen seg over en lengre periode.

3.1.3.3 Simulering 4 -Effekt av kuldebroverdi og lekkasjetall

Modellen endres nå ved å fokusere utelukkende på endringer i kuldebroer i simulering 4 og lekkasjetall i simulering 5. Det er valgt å bruke gjennomsnittlige verdier for alle komponenter og skjøter basert på gulvareal, selv om IDA-ICE håndterer relativt kompleks inndatakonfigurasjon. Effekter ved forbedring av kuldebroer og lekkasjer er spesielt viktig i rehabiliteringsprosjekt, da gamle bygninger ofte har store utettheter og flere utfordrende overganger. For boligblokkene var det blant annet før rehabilitering utkragete balkonger med utilstrekkelige kuldebrytere som førte til at mye varme gikk tapt (Dokka, 2009).

For simulering 4 endres den gjennomsnittlige kuldebroverdien til $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ mens lekkasjetallet endres til $3,00 \text{ h}^{-1}$ for simulering 5. Figur 3-7 nedenfor sammenligner spesifikk levert energi for endringene og sammenlignes med standard modell for romoppvarming og oppvarming av ventilasjonslufta. De resterene kategoriene påvirkes ikke av endringene og tas derfor ikke med i figuren.



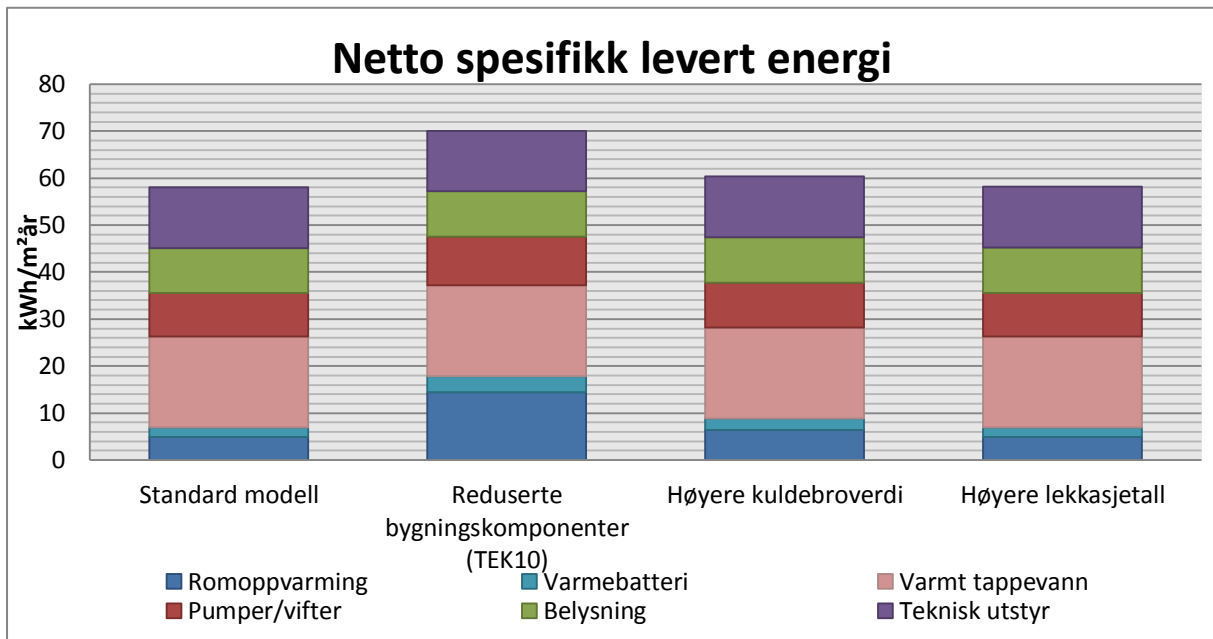
Figur 3-7 Spesifikk levert energi endret kuldebroverdi og lekkasjetall Myhrerenga borettslag

Resultatene viser at energibehovet knyttet til en forhøyet gjennomsnittlig kuldebroverdi bidrar til en økning i energibruken både til romoppvarming og oppvarming av ventilasjonslufta.

Vedlegg A viser varmetapet i prosent for de ulike modellene og sammenlignes i tillegg med modellen i simulering 3. Hoveddelen av varmetapet er knyttet til vinduer og yttervegger. For endringen i kuldebroverdi i simulering 4 viser resultatene en markant økning i andel varmetap knyttet til nettopp kuldebroer. Resultatene viser også at at varmetapet gjennom vinduer blir

høyere når bygningskomponentene blir dårligere (TEK 10). Påvirkningen av å endre lekkasjetallet for modellen var svært liten for modellen i IDA-ICE.

For simulering 3-5 er det viktig å poengtere at effekten av endringene vil være større dersom kravet til innetemperatur økes. Dette ble vist i simulering 2. Figur 3-8 viser netto spesifikk levert energi for de ulike modellene.



Figur 3-8 Netto spesifikk levert energi for de ulike modellene Myhrerenga borettslag

Størst påvirkning skyldes endringen av u-verdier knyttet til bygningskroppen. Spesielt gjelder dette varmetapet gjennom yttervegg, tak og vinduer. Innvirkningen både av forhøyet gjennomsnittlig kuldebroverdi og lekkasjetall hadde ikke like stor påvirkning på varmebalansen. En grunn til dette er at kravene i TEK 10 er relativt strenge. Forbedring av bygningskomponenter bidrar til å redusere energibehovet betraktelig og er viktig for energieffektivisering av bygninger.

3.2 Boligblokk Miljøbyen Granåsen

Miljøbyen Granåsen er et ambisiøst prosjekt som fullt utbygget dekker ca 310 boenheter med et samlet oppvarmet areal på 28 000 m². Prosjektet er lokalisert øst i Trondheim og omfatter både eneboliger, rekkehus og blokkleiligheter. Utbygger Miljøbyen Granås AS har satt ambisiøse mål for prosjektet blant annet ved passivhus som energimål for samtlige bygg. I denne oppgaven er boligblokk H1 for byggetrinn B5-1 modellert og analysert i IDA-ICE.



Figur 3-9 Boligblokk H1 Miljøbyen Granåsen

Boligblokk H1 består av 52 leiligheter over 4 plan i tillegg til kjeller. Leilighetene har forskjellig utforming, og blokka består av 2- roms, 3- roms og 4- romsleiligheter. Totalt oppvarmet brutto areal for blokken er 3060 m² (SINTEF Byggforsk, 2014).

3.2.1 Bygningskonstruksjon

Konstruksjonen av boligblokka baserer seg hovedsakelig på lave varmetap fra yttervegger, gulv, tak, vinduer og dører. Dette resulterer i svært lave U-verdier og lekkasjetall som reduserer transmisjon- og infiltrasjonstap gjennom bygningskroppen. I tillegg er det lagt vekt på god romutforming og lavt vindusareal på lite solutsatte fasader. Tabell 3-5 nedenfor viser bygningstekniske data for bygget samt krav i NS 3700 “*Kriterier for passivhus og lavenergihus – Boligbygninger*”. Verdier for bygningen er basert på kravnivå i forprosjektet, og er ikke nødvendigvis helt lik den faktiske bygningen.

Oversikt bygningstekniske data	Verdier	Krav passivhusstandard
U-verdi, yttervegg	0,12 W/m ² K	0,10-0,12 W/m ² K
U-verdi, tak	0,10 W/m ² K	0,08-0,09 W/m ² K
U-verdi, gulv mot kjeller	0,09 W/m ² K	0,08 W/m ² K
U-verdi, gulv resterende	0,15 W/m ² K	0,08 W/m ² K
U-verdi, vindu	0,75 W/m ² K	0,80 W/m ² K
U-verdi, ytterdør	0,80 W/m ² K	0,80 W/m ² K
Lekkasjetall	0,40 h ⁻¹	0,60 h ⁻¹
Normalisert kuldebroverdi, ψ	0,03 W/m ² K	0,03 W/m ² K

Tabell 3-5 Inndata bygningstekniske data Miljøbyen Granåsen H1

For modellen er det antatt at alle innvendige dører holdes åpne slik at varmen fordeles jevnere. I tillegg er det antatt bruk av innvendige persienner som reduserer unødig oppvarming om sommeren. Dette er viktig for bygg med lave varmetap gjennom bygningskroppen.

3.2.2 Energiforsyning, ventilasjon og internlast

Da energiforsyningen for boligblokka skulle bestemmes, ble flere alternativ vurdert. På grunn av allerede etablert fjernvarme i nærheten, var det et krav at dette ble valgt.

Varmeoverføringen i leilighetene foregår ved sentralt plasserte radiatorer i et vannbårent oppvarmingssystem installert i blokka. Varmtvannsberedning foregår også via fjernvarme, og energidekningsgraden er 100% (SINTEF Byggforsk, 2014).

I simuleringer er det antatt effekt på radiatorer i området 1400-2500W avhengig av størrelser på leilighetene. Tabell 3-6 nedenfor viser nøkkeltall for energiforsyningen.

Oversikt energiforsyning	Verdier	Kommentar
Fjernvarme bunn- og topplast	100% energidekningsgrad	Varmeavgivelse romoppvarming ved sentralt plassert radiator.
Total gjennomsnittlig COP	0,84	
Årlig spesifikt energibehov til varmtvann	30 kWh/m ² år	
Settpunkt oppvarming	21 °C	Det er antatt en profil for oppholdstid i bygningen der beboerne er på jobb fra 0700-1500.
Driftstid oppvarming	Hele døgnet	

Tabell 3-6 Inndata energiforsyning Miljøbyen Granåsen H1

For boligblokka er det installert balansert ventilasjon. Det er lagt opp til enkel behovsstyring ved manuell trinnbryter slik at brukere kan endre luftmengder etter behov. Varmegjenvinner med god effektivitet gjenvinner mesteparten av varmen fra avtrekkslufta. Dette sparer energi,

og er viktig for å redusere energibehovet. Videre er settpunkttemperaturen for tillufta satt til 19°C. Data for ventilasjonsanlegget samt internlaster i bygget er gjengitt i tabell 3-7.

Oversikt ventilasjon og internlaster	Verdier	Krav passivhusstandard/ tek10
Roterende varmegjenvinner	83% virkningsgrad	80% virkningsgrad
SFP-faktor	1,5 kW/(m ³ /s)	1,5 kW/(m ³ /s)
Gjennomsnittlige luftmengder	1,31 m ³ /m ² h	0,7 m ³ /m ² h for tomme rom 1,2 m ³ /m ² h for drift
Settpunkt kjøling	25 °C	
Driftstid ventilasjon	24h	
Effektbehov belysning	1,95 W/m ²	1,95 W/m ²
Internlast belysning	1,95 W/m ²	1,95 W/m ²
Effektbehovt teknisk utstyr	3,00 W/m ²	3,00 W/m ²
Internlast teknisk utstyr	1,80 W/m ²	1,80 W/m ²
Gjennomsnittlig varmetilskudd, personbelastning	4 W/m ² 0,04 person/m ²	1,50 W/m ²

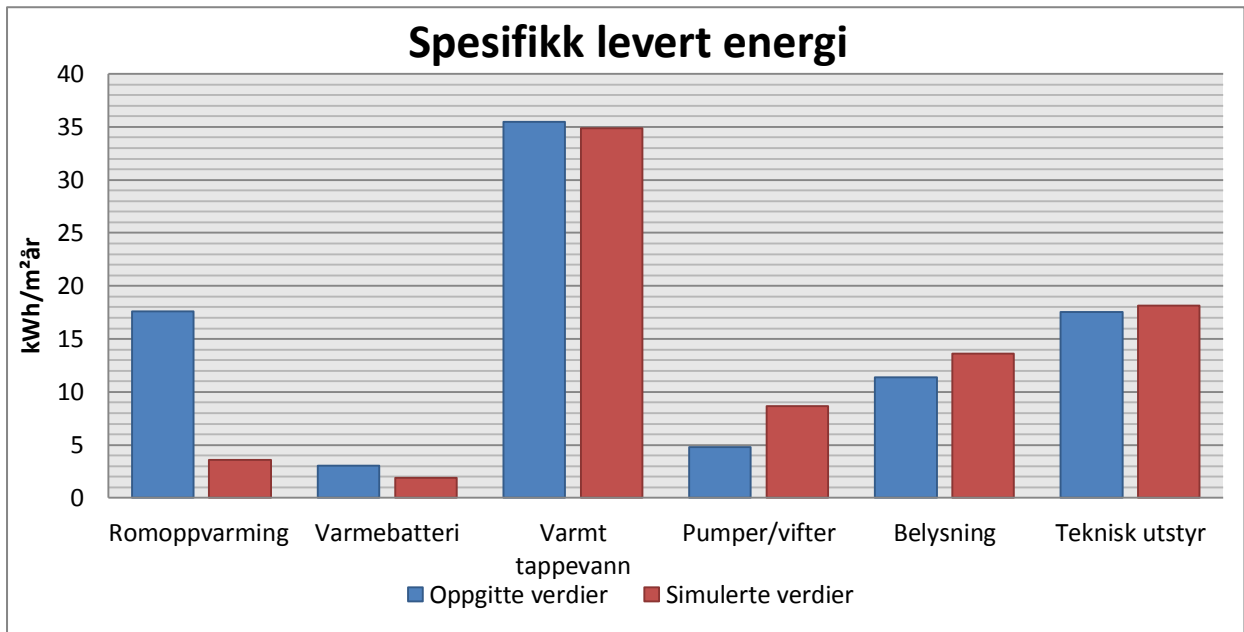
Tabell 3-7 Inndata ventilasjon og internlaster Miljøbyen Granåsen H1

For effektbehovet knyttet til belysning og teknisk utstyr er det i simuleringer antatt 1,95 og 3 W/m², der driften for disse er 16 timer i døgnet. Dette tilsvarer kravet i NS3700. Bruken av lys og utstyr er videre antatt å være jevnt fordelt over hele driftstida. I 2-roms leiligheter er det antatt personbelastning på 2 personer, mens for 3-roms leiligheter er antatt belastning 3 personer etc. Dette utgjør en spesifikk personbelastning på ca 0,04personer/m².

3.2.3 Energi- og klimasimulering i IDA-ICE

For soneinndelingen i IDA-ICE er 2-roms leiligheter delt inn i 2 soner, mens 3-roms og 4-roms er inndelt i henholdsvis 3 og 4 soner. En slik inndeling av flere soner per leilighet gjør det mulig å definere rommene mer detaljert. Soner i kjeller er uoppvarmet og består av teknisk rom, boder og parkeringskjeller. Med data fra foregående avsnitt fås resulterende

levert energi for boligblokka angitt i figur 3-10.



Figur 3-10 Spesifikk levert energi Miljøbyen Granåsen

Siden bygningen ikke er i drift, finnes det ingen tilgjengelige målte verdier knyttet til energibehovet for H1.

Resultater for energibehovet for modellen i IDA-ICE skiller seg hovedsakelig fra prosjekterte verdier tilknyttet romoppvarming, som er svært lav. Vedlegg B viser en varighetskurve for romoppvarmingen gjennom simuleringsperioden. Figuren viser at oppvarmingssesongen strekker seg over ca. halvparten av året. Dette skyldes at varmetilskuddet er større enn varmetapet for store deler av året, med gitt temperaturkrav på 21°C.

Videre er det noen forskjeller knyttet til vifter i ventilasjonssystemet. Dette skyldes antagelig ulikheter i håndtering av energibruk knyttet til ventilasjonssystemet for modellen i IDA-ICE og prosjekterte verdier basert på simuleringsverktøyet SIMIEN. Modellen i IDA-ICE legger nemlig tilsvarende verdier til grunn for beregningen. Energibehovet til belysning er noe høyere, og skyldes at enkelte uoppvarmede soner også inkluderer belysning.

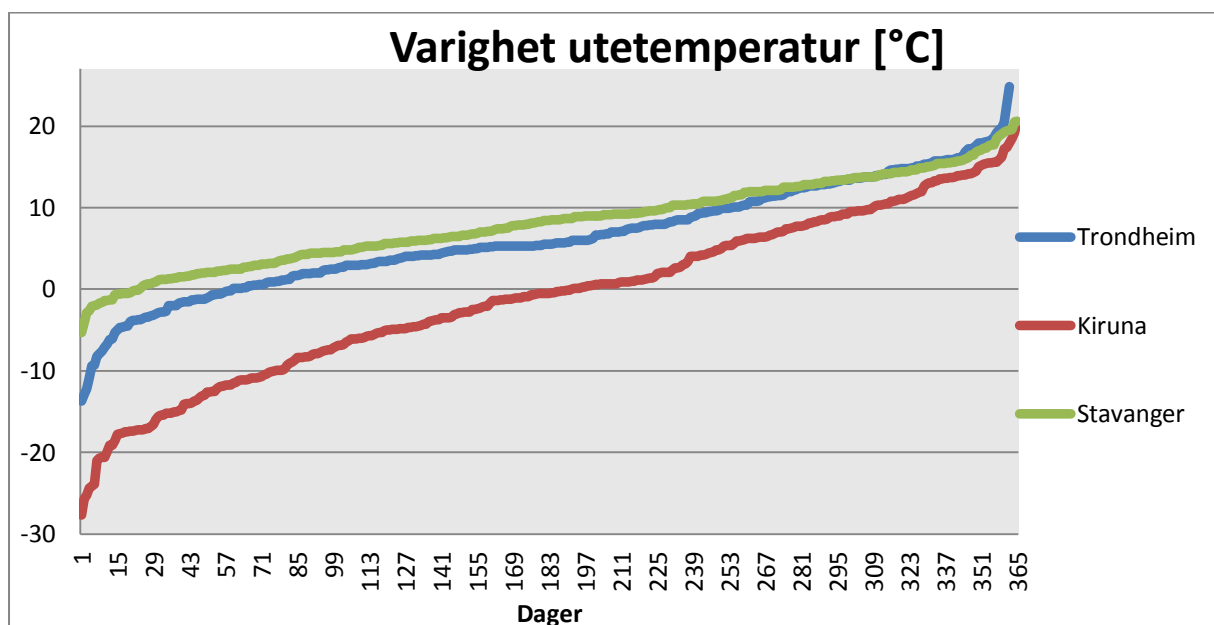
Energibehovet spesielt tilknyttet romoppvarming og oppvarming av ventilasjonslufta er svært avhengig av klimaet bygningen befinner seg i. Et kaldt uteklima stiller større krav til bygningskropp og vil generelt ha høyere energibehov for disse kategoriene. Selv om blokken H1 har svært lave varmetap gjennom bygningskroppen, er det interessant å analysere eventuelle innvirkninger av å endre uteklimaet. Dette gjelder spesielt innvirkninger knyttet til

romoppvarming og oppvarming av ventilasjonslufta. Videre analyse fokuseres derfor rundt dette temaet.

3.2.3.1 Simulering 2,3 og 4 – Endret uteklima og økt krav til innetemperatur

For å representere et kaldere uteklima enn Trondhiem er vær- og klimaprofiler for Kiruna i Sverige valgt for simulering 2. Selv om dette er utenfor Norge, representerer klimaet et typisk kaldt innlandsklima med kalde vintre. I Norge finnes dette blant annet på innlandet i Finmark. Kiruna er valgt da databasen over vær- og klimaprofiler ikke inkluderer byer med slikt klima. Som en sammenligning er årsmiddeltemperaturen for Kiruna $-2,3^{\circ}\text{C}$, mens årsmiddeltemperaturen for karasjøkk i Finmark er $-2,4^{\circ}\text{C}$ (Meteorologisk institutt, 2013). Påvirkningen knyttet til romoppvarming og oppvarming av ventilasjonsluft er like relevant for analysen da tilstandene er like.

For mildere uteklima er Stavanger valgt i simulering 3, mens temperaturkravet er forhøyet med 1°C fra 21°C til 22°C i simulering 4. Varighet for utetemperatur for de ulike vær- og klimaprofilene for de 3 modellene vises i figur 3-11 nedenfor, og er basert på gjennomsnittstemperatur på dagsbasis. Det er altså benyttet 365 målepunkter.

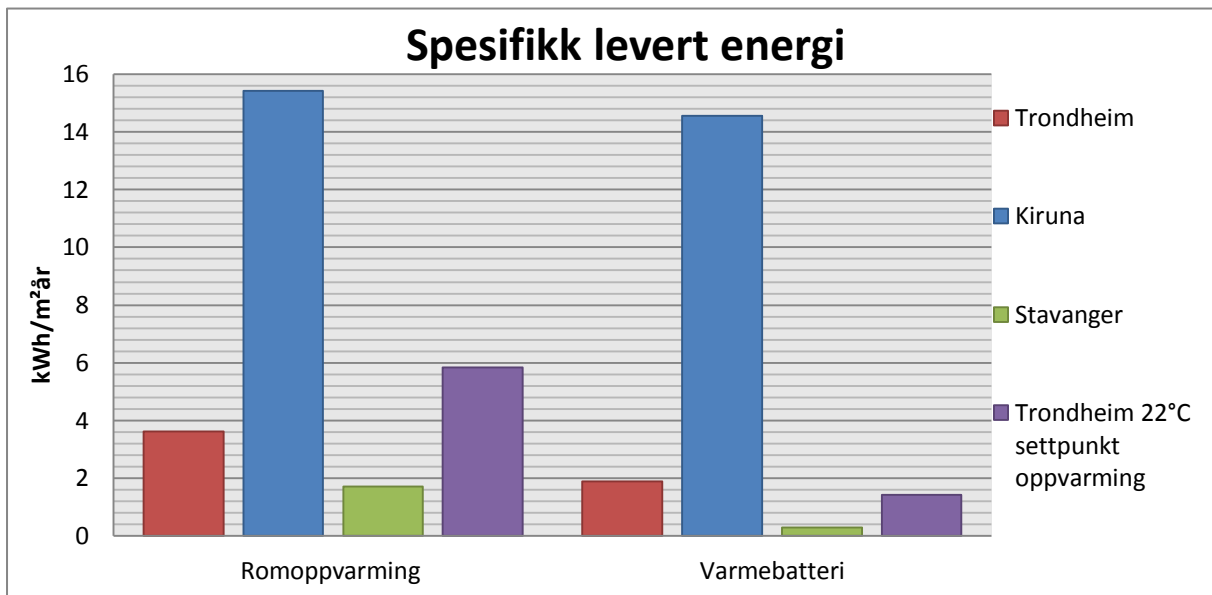


Figur 3-11 Varighet utetemperatur ved ulike klima for modellene Miljøbyen Granåsen

Figuren viser relativt store forskjeller for de ulike profilene. For kaldere klima i Kiruna er temperaturen svært lav for store deler av året, med temperaturer helt ned mot -30°C . I tillegg

er gjennomsnittstemperaturen under -10°C for over 70 dager av året. Motsatt tilfelle med mildere klima i Stavanger viser relativt høye utetemperaturer gjennom året. Figuren viser at kun 23 dager har kaldere gjennomsnittstemperatur enn 0°C . Klimaet i Trondheim er altså en mellomting mellom de 2 tilstandene.

Innvirkningen for energibehovet for de ulike temperaturprofilene samt forhøyet krav til innetemperatur er representert i figur 3-12 nedenfor.



Figur 3-12 Spesifikk levert energi for modeller med endret klima og temperaturkrav Miljøbyen Granåsen

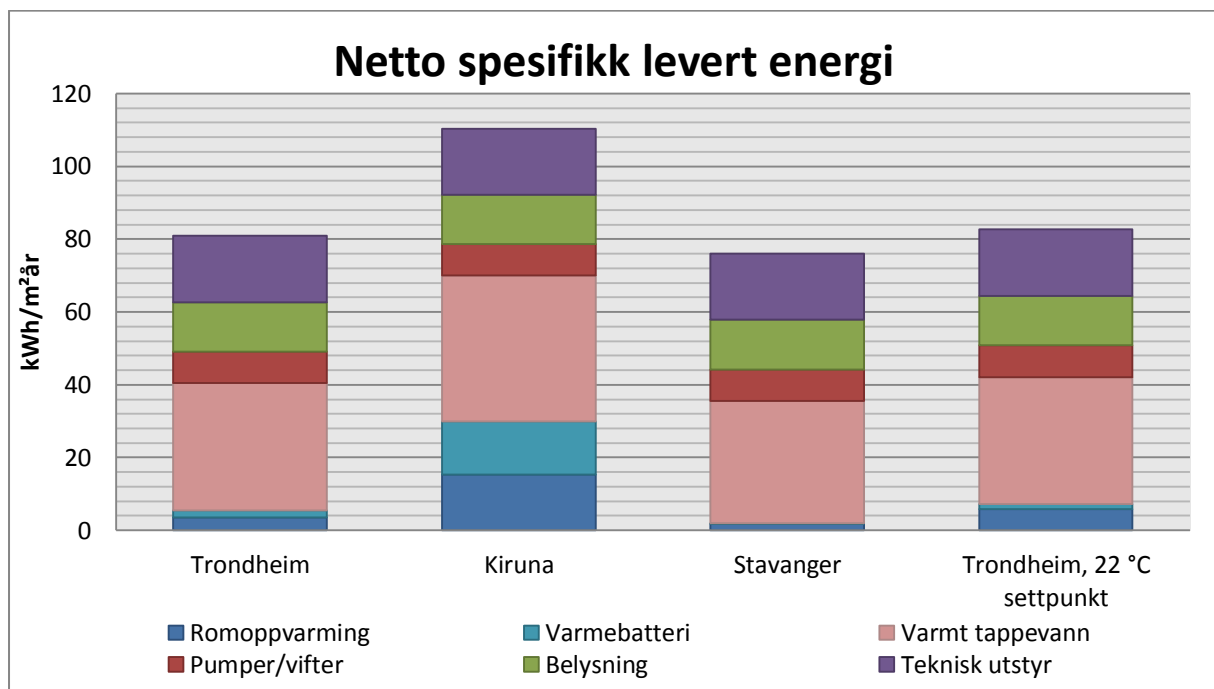
Figuren viser at innvirkningen ved å endre vær- og klimaprofilen til kaldere klima representert ved Kiruna er svært stor både for energibehovet til romoppvarming og oppvarming av ventilasjonslufta. Dette tilsvarer en økning på over 320% knyttet til romoppvarming og 660% knyttet til oppvarming av ventilasjonslufta. Tilsvarende viser forandringen til det milde klimaet representert ved Stavanger en senkning av energibehovet. Ved å øke temperaturkravet fra 21°C til 22°C viser simuleringene også en betydelig økning i energibehovet til romoppvarming. Dette viser at energibehovet er svært avhengig av bruksmønster for bygget. For modellene i IDA-ICE er innetemperaturen relativt jevnt gjennom hele året, noe som skiller seg litt fra virkeligheten da brukerne senker og øker temperaturen etter behov (Halvorsen og Dalen, 2012). Dette gjør at energibruken knyttet til romoppvarming for simuleringen er lavere enn hva som kunne forventes.

Selv i passivhus med god klimaskjerm er altså innvirkningen av uteklima betydelig for energibehovet. Innvirkningen vil her være større for bygninger med høyere varmetap gjennom

bygningkroppen. Vedlegg B viser varighet for varmetap gjennom året knyttet til fasaden/kuldebroer, samt varmetap knyttet til vinduer, for stue/kjøkken i 3 etasje ved de ulike vær-og klimaprofilene. Figurene viser at varmetapene for det kaldere klimaet representert ved Kiruna er mye større for store deler av året. Dette skyldes at transmisjonsvarmetapet gjennom en flate er proporsjonal med temperaturredifferansen ($T_i - T_u$) mellom hver side av flaten, og er gitt av

$$q_{trans} = UA(T_i - T_u)$$

Når varmetapet øker, må dette motvirkes med oppvarming via radiatorene for å holde tilfredstillende temperatur, og gjør at energibehovet til romoppvarming øker. Figur 3-13 nedenfor viser resulterende netto spesifikk levert energi for de 4 ulike modellene.



Figur 3-13 Netto spesifikk levert energi for de ulike modellene Miljøbyen Granåsen

Resultatene fra de ulike modellene viser at energibehovet påvirkes i stor grad både av uteklimate og krav til innetemperatur. Dette stiller ulike krav til bygningskropp og oppvarmingssystem for bygninger som befinner seg i ulike klimasoner og med ulikt bruk. For en bygning i Stavanger vil for eksempel u-verdier for bygningskroppen kunne være høyere sammenlignet med Trondheim for å oppnå samme energibehov. Dette korrigeres også for blant annet ved krav til høyeste beregnede netto energibehov til romoppvarming i passivhusstandarden.

3.3 Vålandshaugen barnehage

Vålandshaugen barnehage er lokalisert på Våland i Stavanger og er et nybygg oppført etter krav i passivhusstandarden. Bygget ble tatt i bruk Januar 2013, og erstattet tidligere barnehage. Tidligere barnehage oppfylte verken krav til universell utforming og energibruk, eller normkrav tilknyttet garderober, lekeareal, stellerom, wc, og personalrom. Deler av bygningen bidro også til dårlig inneklimate ved mugg- og soppdannelser (Stavanger Kommune, 2011).



Figur 3-14 Perspektiv Vålandshaugen barnehage (Abacus AS)

Den nye barnehagen på Våland er utformet som vist i figur 3-14 i 3 etasjer med den smaleste delen vendt mot syd. Barnehagen er delt inn i 4 avdelinger, blant annet med småbarnsavdeling og avdeling for større barn. Bygget består videre av teknisk rom i 1. etasje og personalrom i 3. etasje. De to neste avsnittene presenterer relevante tekniske data for barnehagen som benyttes for videre analyse i modellen i IDA-ICE.

3.3.1 Bygningskonstruksjon

For konstruksjonen, oppføres barnehagen med bæresystem i betong og stål. Her benyttes støpte gulv på grunn og dekker i stedstøpt betong. Yttertak er oppført i lett-taks elementer. Materialer er hovedsakelig valgt med hensyn på miljø og inneklimate. Dette omfatter

naturmaterialer med god standard og lavt vedlikeholdsbehov. Innvendig har barnehagen miljøvennlige og resirkulerbare materialer som fører til reduserte emisjoner. Dette er viktig for å opprettholde et godt innklima, og for å redusere energibruk tilknyttet ventilasjonssystemet. Yttervegger over terreng oppføres som isolert krysslektet stenderverksvegg med 350 mm isolasjon, kuldebrobrytere mot betong, samt damp- og vindsperre. Yttervegger som er helt eller delvis under terreng i 1. etasje oppføres med kombinasjon av betong, samt innvendig og utvendig isolasjon. Innervegger isoleres med 100 og 200 mm stenderverk, med underkledning av gipsplater og stående panel. For takkonstruksjonen benyttes lett-taks elementer med 580mm isolasjon, dobbel tekking og sedumtak (Stavanger Kommune, 2011). I tabell 3-8 nedenfor vises bygningstekniske data som benyttes for simuleringer, i tillegg til en sammenligning med krav i NS 3701 “Kriterier for passivhus og lavenergihus – Yrkesbygninger”.

Oversikt bygningstekniske data	Verdier	Krav passivhusstandard
U-verdi, yttervegg mot grunn	0,13 W/m ² K	0,15 W/m ² K
U-verdi, yttervegg mot friluft	0,12 W/m ² K	0,15 W/m ² K
U-verdi, tak	0,13 W/m ² K	0,13 W/m ² K
U-verdi, gulv mot grunn	0,09 W/m ² K	0,15 W/m ² K
U-verdi, gulv mot friluft	0,12 W/m ² K	0,15 W/m ² K
U-verdi, gulv mot vognbod	0,15 W/m ² K	0,15 W/m ² K
U-verdi, vindu	0,72 W/m ² K	0,80 W/m ² K
U-verdi, ytterdør	0,80 W/m ² K	0,80 W/m ² K
Lekkasjetall	0,60 h ⁻¹	0,60 h ⁻¹
Normalisert kuldebroverdi, ψ	0,034 W/m ² K	0,03 W/m ² K

Tabell 3-8 Inndata bygningstekniske data Vålandshaugen barnehage

For å redusere varmetapet gjennom vinduer, er det installert 3-lags vinduer med svært lav U-verdi. For fasader på øst, sør og vest er det installert utvendig solskjerming på de største vinduene. Dette er viktig for å unngå unødvendig overopphetning av soner, og fører til et redusert behov for kjøling om sommeren. For modellen i IDA-ICE er det valgt at disse slås på automatisk når solinnstrålingen overgår 100W/m² gjennom vinduene. Vindusareal for total fasade i modellen er summert til 18%, mens innvendige dører er antatt fullstendig åpnet for simuleringen. Forenklingen gjør at temperaturen holder seg jevnest mulig. Dette reduserer kjølebehovet om sommeren, men fører til at alle rom er konstant oppvarmet under drift, og øker energi til oppvarming. I tillegg økes tregheten i systemet som gjør at temperaturforandringer tar lengre tid.

3.3.2 Energiforsyning, ventilasjon og internlast

Som energiforsyning benytter barnehagen seg av en kombinasjon av væske/vann bergvarmepumpe og solfangere som bunnlast med elkjel som topplast. Romoppvarmingen skjer hovedsakelig ved vannbåren gulvvarme i kombinasjon med radiatorer. Alle rom styres av en separat romføler styrt fra SD-anlegg (Stavanger Kommune, 2011). Som en forenkling er det i modellen valgt å kun benytte radiatorkreter. Dette skyldes at IDA-ICE ikke støtter utnyttelse av gulvvarme. Til varmtvannsbruk benyttes varmepumpa og solfangerne til forvarming og elkjelen til ettervarming av vannet for å oppnå tilstrekkelig temperatur med tanke på legionella. Nøkkeltall for energiforsyningen er representert i tabell 3-9 nedenfor og benyttes i modellen. Oppvarmet bruttoareal for bygningen er kalkulert til 740m².

Oversikt energiforsyning	Verdier	Kommentar
Væske/vann bergvarmepumpe og solfangere, bunnlast	60% energidekning, tappevann 90% energidekning, rest	Varmeavgivelse for romoppvarming ved radiatorer.
Total gjennomsnittlig COP	2,22	Tall for COP baseres på prosjekterte data.
Eletrisk kjel, topplast	40% energidekning, tappevann	
Gjennomsnittlig COP	10% energidekning, rest	
Årlig spesifikt energibehov til varmtvann	10 kWh/m ² år	
Settpunkt oppvarming	21 °C	Settpunktet utenfor drift er satt til 18°C.
Driftstid oppvarming	0600 - 1700	Oppvarming starter 1 time før bygningen åpner.
Oppholdstid brukere	0700 - 1700	

Tabell 3-9 Inndata energiforsyning Vålandshaugen barnehage.

Til ventilasjonen av bygningen, er det installert et helt nytt luftaggregat med varmebatteri og roterende varmegjenvinner, i tillegg til lydfeller, reguleringspjeld, brannspjeld og andre installasjoner i henhold til forskrifter. Lufttilførsel og avtrekk er balansert, og baserer seg på fullstendig omrøringsventilasjon og behovsstyring (VAV) styrt av CO₂ og temperatursensorer. Systemet fører til god lufttilførsel samtidig som energibruk reduseres og godt inn klima opprettholdes. Omrøringsventilasjon stiller ikke like store krav til drift og vedlikehold sammenlignet med fortrenningsventilasjon og kan være fordelaktig i barnehager. Fortrenningsventilasjon krever også kaldere tilluft som kan føre til kalde flater eller trekk i sonen (Nilsson, 2013). Dette er spesielt viktig i barnehager der barn leker på gulvet. Nøkkeltall fra ventilasjonssystemet samt internlast i barnehagen vises i tabell 3-10 nedenfor.

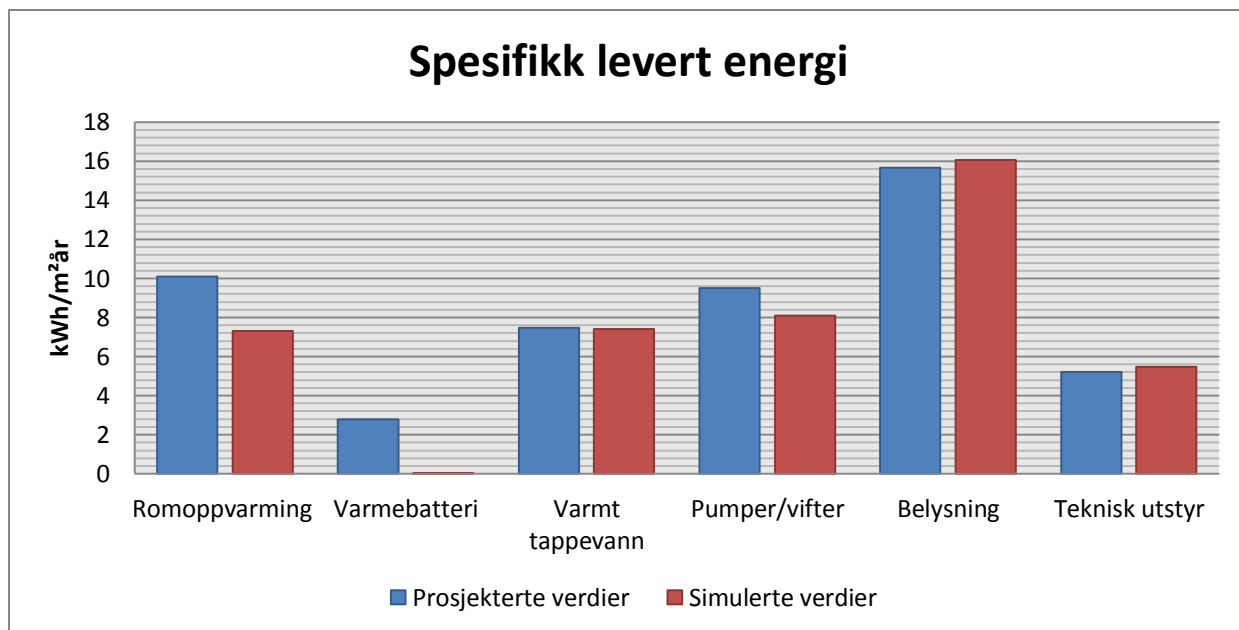
Oversikt ventilasjon og internlast	Verdier	Krav passivhusstandard/ tek10	Kommentar
Roterende varmegjenvinner	85% virkningsgrad	80% virkningsgrad	
SFP-faktor	1,5 kW/(m ³ /s)	1,5 kW/(m ³ /s)	
Minimale luftmengder	1 m ³ /m ² h	0,7 m ³ /m ² h tomme rom	Basert på VAV mellom minimum og maksimum.
Maksimale luftmengder	12 m ³ /m ² h	2,5 m ³ /m ² h + 26 m ³ /h*person	
Settpunkt kjøling	25 °C		For modellen tilsvarende kjøling lufting ved åpning av vinduer.
Driftstid ventilasjon VAV	24h		
Effektbehov belysning	6 W/m ²	6 W/m ²	Basert på 74 barn og ansatte i barnehagen (Stavanger Kommune, 2015).
Internlast belysning	6 W/m ²	6 W/m ²	
Effektbehovt teknisk utstyr	2 W/m ²	2 W/m ²	
Internlast teknisk utstyr	2 W/m ²	2 W/m ²	
Gjennomsnittlig varmetilskudd, personbelastning	10 W/m ² 0,1 person/m ²	6W/m ²	

Tabell 3-10 Inndata ventilasjon og internlast Vålandshaugen barnehage

For modellen er gjennomsnittlige internlaste for belysning, teknisk utstyr og brukere satt i henhold til verdier i tabellen. Verdier baserer seg på bruk av tilstedeværelsessensorer og at brukerne av barnehagen ikke sløser med elektrisitet. For personbelastningen er det antatt relativt høy aktivitet for brukere som resulterer i et høyt varmetilskudd. Det er videre antatt at brukere benytter deler av dagen utenfor bygningen, noe som reduserer varmetilskuddet i bygningen for disse perioden. Spesifikt er det antatt 2 perioder om dagen der personbelastningen er redusert.

3.3.3 Energi- og klimasimulering i IDA-ICE

På grunn av at bygningen er relativt liten, er soneinndelingen for modellen stort sett lik den virkelige rominndeling. Det vil si at hvert rom er representert med en sone i modellen. Dette gjør analyse av hvert enkelt rom mulig. For større bygninger er dette problematisk med tanke på simuleringstid i programmet. Spesifikk levert energi for bygningen med gitte tekniske løsninger og prosjekterte verdier er vist i figur 3-15 og er basert på helårssimuleringer med vær-og klimaprofil for Stavanger.

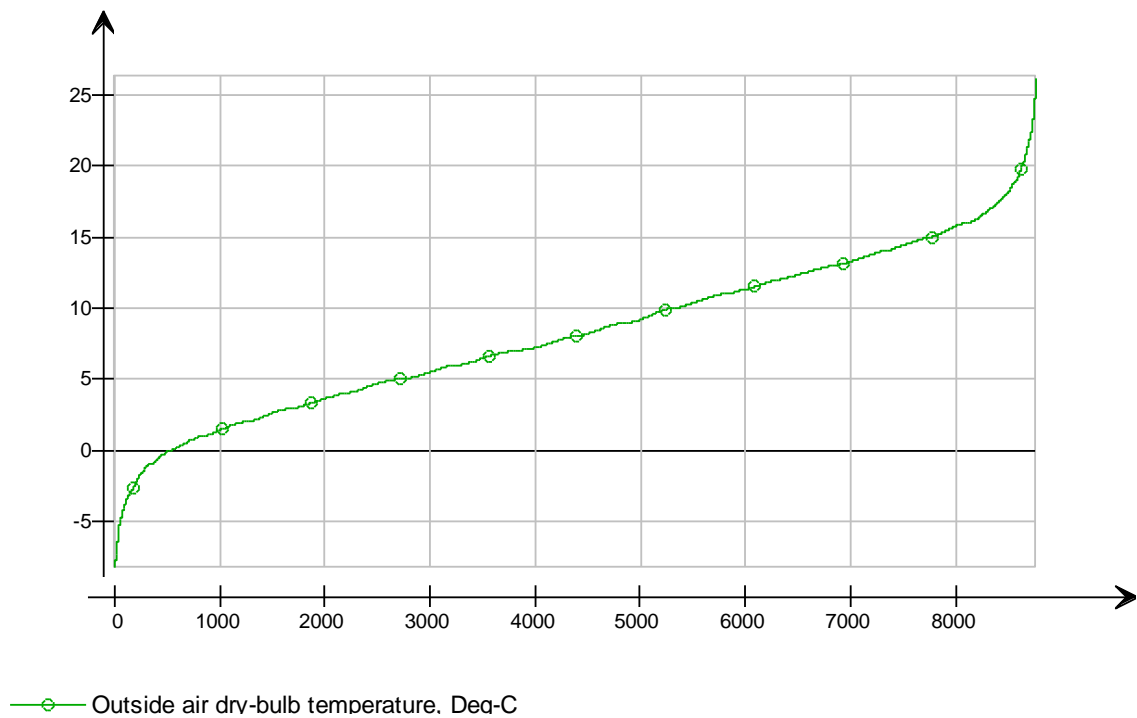


Figur 3-15 Spesifikk levert energi Vålandshaugen barnehage

For målte verdier ved drift, viser Stavanger eiendom ved Bernt Krogh til et totalt spesifikt elektrisitetbehov (levert energi) på 91,3 kWh/m²år for 2014. Dette inkluderer imidlertid også elektrisitet for ladestasjon til 2 stykk EL-biler. Trekkes et antatt elektrisitetsbehov på 2000kWh/bil ifra, blir resulterende netto spesifikk levert energi under drift 86,5kWh/m²år. (Norsk elbilforening, 2012). For modellen i IDA-ICE er netto spesifikk levert energi summert til 44,4kWh/m²år og er altså nesten halvert sammenlignet med målte verdier.

Forskjeller mellom simulerte verdier i IDA-ICE og prosjekterte verdier inkluderer energibehovet knyttet til romoppvarming, oppgarming av tillufta, og energibehov knyttet til vifter i ventilasjonssystemet. Forskjellen i sistnevnte skyldes hovedsakelig lavere gjennomsnittlige luftmengder for ventilasjonssystemet basert på VAV med sensorer for CO₂ og temperatur. Videre er energibehovet til romoppvarming noe lavere, mens energibehovet knyttet til oppvarming av tillufta er tilnærmet lik 0. Dette skyldes et relativt mildt klima gjennom hele året, sammen med god utnyttelse av avtrekkslufta via varmegjenvinneren. Figur 3-16 viser varighet av utetemperaturen gjennom året, og baserer seg på vær- og klimaprofiler

for Stavanger i IDA-ICE.



Figur 3-16 Varighet utetemperatur Stavanger

Det milde klimaet reduserer energibehovet knyttet til romoppvarming og oppvarming av tillufta i ventilasjonssystemet.

For videre analyse av bygningen er det valgt å se på forskjeller innen romoppvarming og varmeavgivelse i sonene. Dette fokuseres rundt radiatorplassering, effektbehov og driftstid. I tillegg analyseres effekten av en endret personbelastning i sonene, noe som vil være relevant i barnehager. Analysen vil fokuseres rundt det termiske innklimaet for de ulike løsningene og hvordan dette blir påvirket i oppvarmingsperioden. I tillegg analyseres endringer i energibehovet for de ulike modellene.

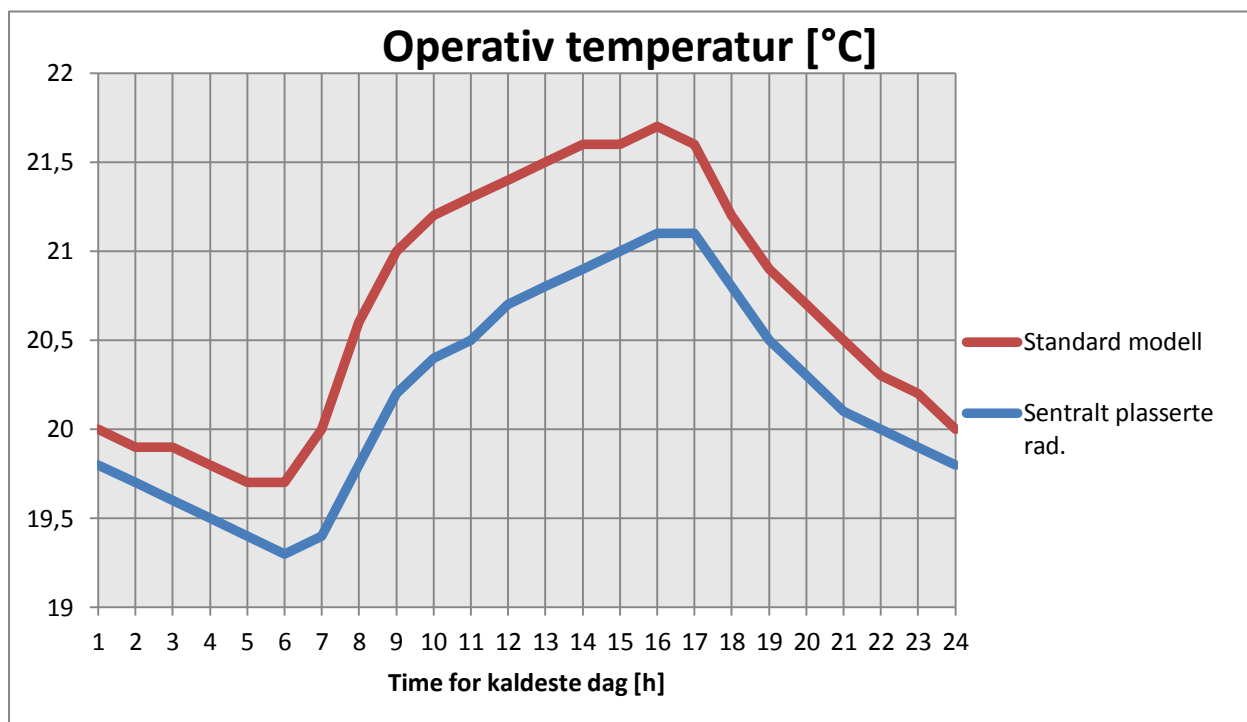
3.3.3.1 Simulering 2 – Sentralt plasserte radiatorer

For standardmodellen blir bygningen varmet opp ved radiatorer plassert under vinduene. Dette gjøres tradisjonelt for å hindre trekk fra vinduet som har lavere temperatur enn omgivelsene i rommet. For nyere bygninger med bedre vinduer, reduseres imidlertid varmetapet gjennom vinduet og behovet for å dekke kaldras er mindre. Modellen i simulering 2 benytter derfor sentralt plasserte radiatorer. For å beholde den samme varmeavgivelsen til sonene, må enten inn-temperaturen eller overflatearealet på radiatorene økes. I modellen er sistnevnte valgt. Ved varmeavgivelse via sentralt plasserte radiatorer, reduseres antall

enheter, og dermed nødvendige rørføringer og lignende for oppvarmingssystemet. Soner uten radiatorer varmes dermed opp via varmetransport fra nærliggende soner. Det termiske inneklimaet må derfor analyseres for disse sonene.

Plasseringen av radiatorene er valgt med hensyn til hvordan de ulike sonene brukes. Skjermdumpen i vedlegg C viser maksimal varmeavgivelsen fra radiatorene i sonene for 2. etasje av barnehagen. For standardmodellen har hver sone en varmeavgivende effekt på 30W/m². Da færre radiatorer benyttes ved sentral plassering, må effekten økes tilsvarende. Dører er antatt åpne slik at varmen overføres lettere via sonene.

For analysen er det valgt å se på sone benyttet til forming i 2. etasje. Denne modelleres uten radiator og mottar varme fra lekerom og kjøkken på hver side. Videre ligger sonen mot nordfasaden som minimerer solinnstråling og øker varmetapet via fasaden. Figur 3-17 viser temperaturprofilen for den kaldeste dagen av året for standardmodellen og modellen med sentralt plasserte radiatorer.



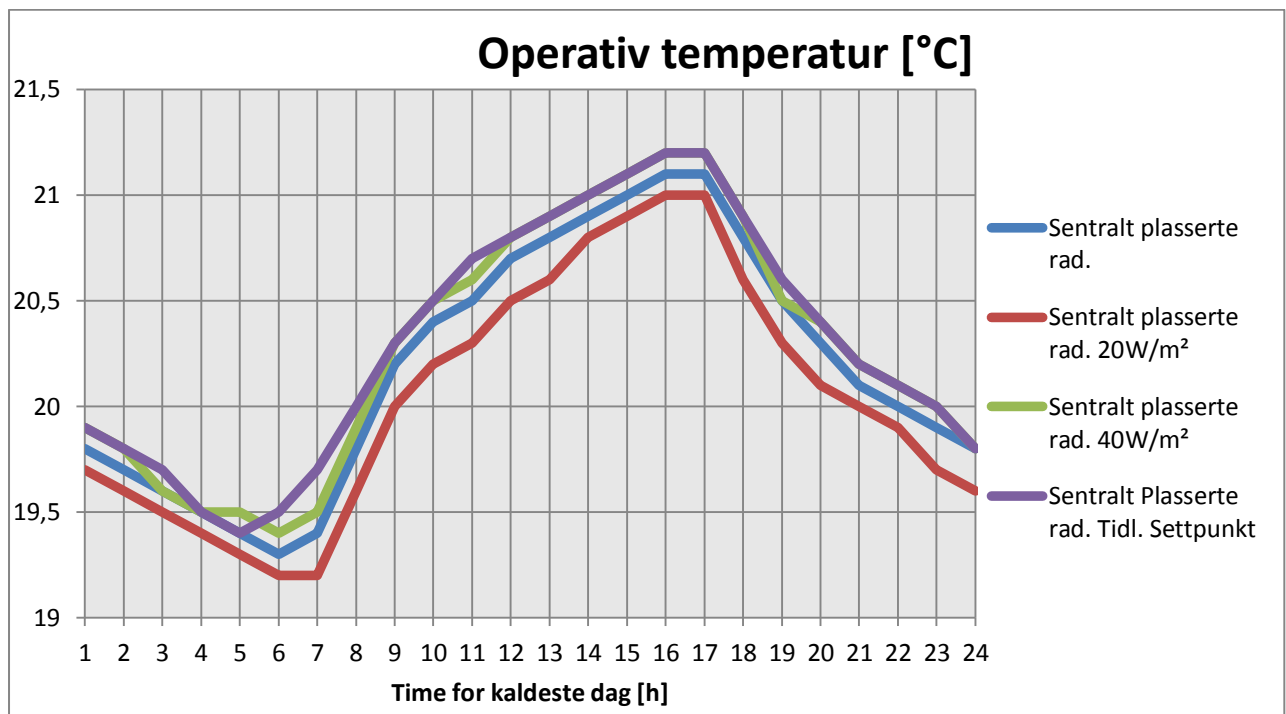
Figur 3-17 Operativ temperatur for standard modell og sentralt plasserte radiatorer dimensjonerende vinterforhold Vålandshaugen barnehage

Figuren viser problemer med oppvarmingen spesielt ved sentralt plasserte radiatorer. Temperaturkravet er satt til 21 °C med driftstid fra 0700 til 1700. Figuren viser at temperaturen ikke kommer opp til dette nivået før klokken er 1600. Energibalansen i Vedlegg C viser at en stor del av varmetilskuddet skyldes personbelastning og belysning samt varmeoverføringen fra nabosoner. Disse er imidlertid ikke store nok sammenlignet med

varmetapet. For å oppnå tilfredstillende temperaturnivå vil det være mulig å øke effekten for nabosoner, eller starte oppvarmingen tidligere. Dette skal analyseres videre.

3.3.3.2 Simulering 3,4 og 5- Endret effekt og tidligere settpunkt for oppvarming

I simulering 3 og 4 endres gjennomsnittseffekten for radiatorene fra 30W/m² til 20W/m² og 40W/m², for å se hvordan dette påvirker oppvarmingen i sonen. Modellen i simulering 5 setter krav til innetemperatur på 21°C klokken 0500 i stedet for klokken 0600. Figur 3-18 nedenfor viser temperaturprofilen for sonen gjennom den kaldeste dagen av året for de ulike modellene med sentralt plasserte radiatorer.



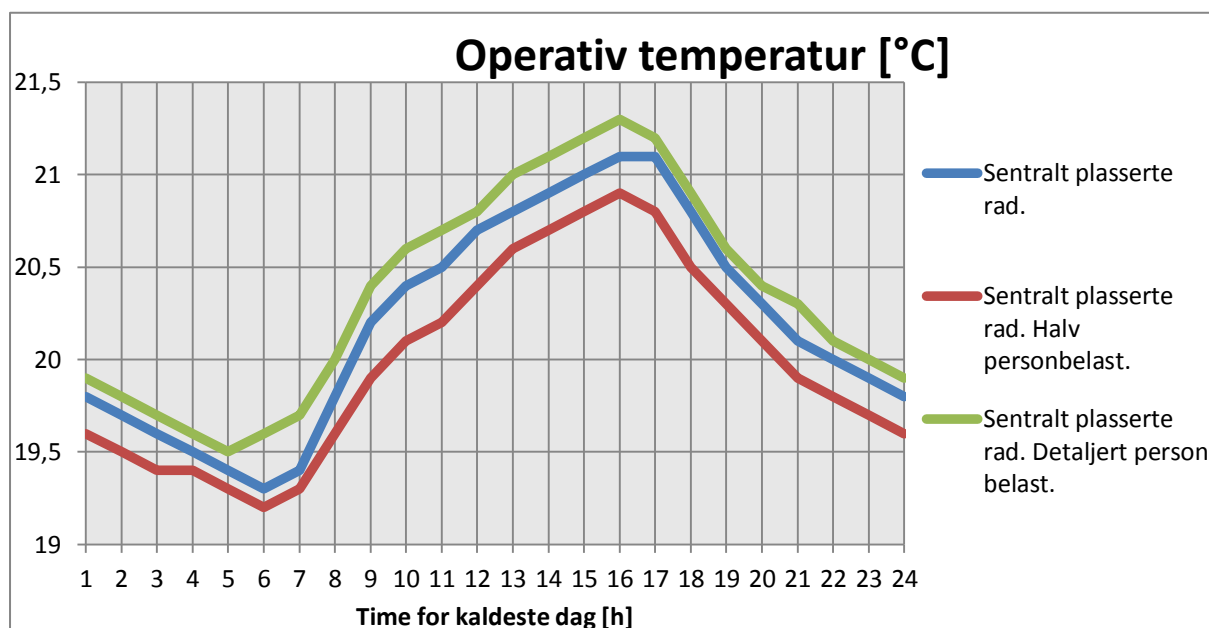
Figur 3-18 Operativ temperatur i sone for ulike modeller for effekt og settpunkt Vålandshaugen barnehage

Figuren viser at endringene til høyere avgivende effekt og tidligere settpunkt for oppvarmingen ikke resulterer i tilfredstillende temperaturøkning i sonen for driftstiden. De to modellene viser relativt lik temperaturprofil gjennom dagen, og oppnår kravet på 21°C ca. 7 timer etter åpning av barnehagen. For modellen med tidligere settpunkt er imidlertid temperaturen noe høyere kl 0700. Figuren viser at modellen med redusert radiatoreffekt har enda større problem med å oppnå tilfredstillende temperaturnivå. For å oppnå høyere temperaturer i sonen tidligere må det vurderes å øke temperaturkravet om natta for den kaldeste perioden.

3.3.3.3 Simulering 6 og 7 – Halv personbelastning og detaljert personbelastning

Modellen endres nå ved å se på temperaturprofilen ved å endre personbelastningen. Dette vil være relevant da personbelastningen varierer mye for barnehager blant annet ved utendørslek, turer og sykdom, og påvirker varmebalansen. I simulering 6 halveres personbelastning fra 0,1 personer/m² til 0,05 personer/m².

Simulering 7 tar for seg en antatt mer detaljert definisjon av personbelastningen. Hittil har gjennomsnittsverdier for alle soner blitt brukt med bakgrunn på antall personer i barnehagen. Ved antagelse av 74 personer fordelt på 740m² resulterte dette i en gjennomsnittlig personbelastning på 0,1 personer/m². Hver sone deles nå inn etter hvordan sonene faktisk brukes. Det vil si at soner der barna oppholder seg mest vil ha størst personbelastning. Dette vil for eksempel være leke- og hvilerom. Deretter kommer soner som kjøkken, møterom, oppholdsrom, kontor, våtrom osv. Dette gjør at detaljnivået for selve oppvarmingen blir mere nøyaktig. For modellen med detaljert personbelastning benyttes i tillegg tidligere settpunkt for oppvarming fra klokka 0500. Figur 3-19 nedenfor viser temperaturprofilen for de to modellene og sammenlignes med sentralt plasserte radiatorer.



Figur 3-19 Operativ temperatur for modell med endret personbelastning Vålandshaugen barnehage

Vedlegg C viste at en stor andel av varmetilskuddet skyldtes personbelastningen. Når denne reduseres, påvirkes temperaturprofilen i relativt stor grad. Temperaturen for sonen kommer aldri opp til 21°C for dimensjonerende utetemperatur. Dette viser igjen at varmetilskuddet

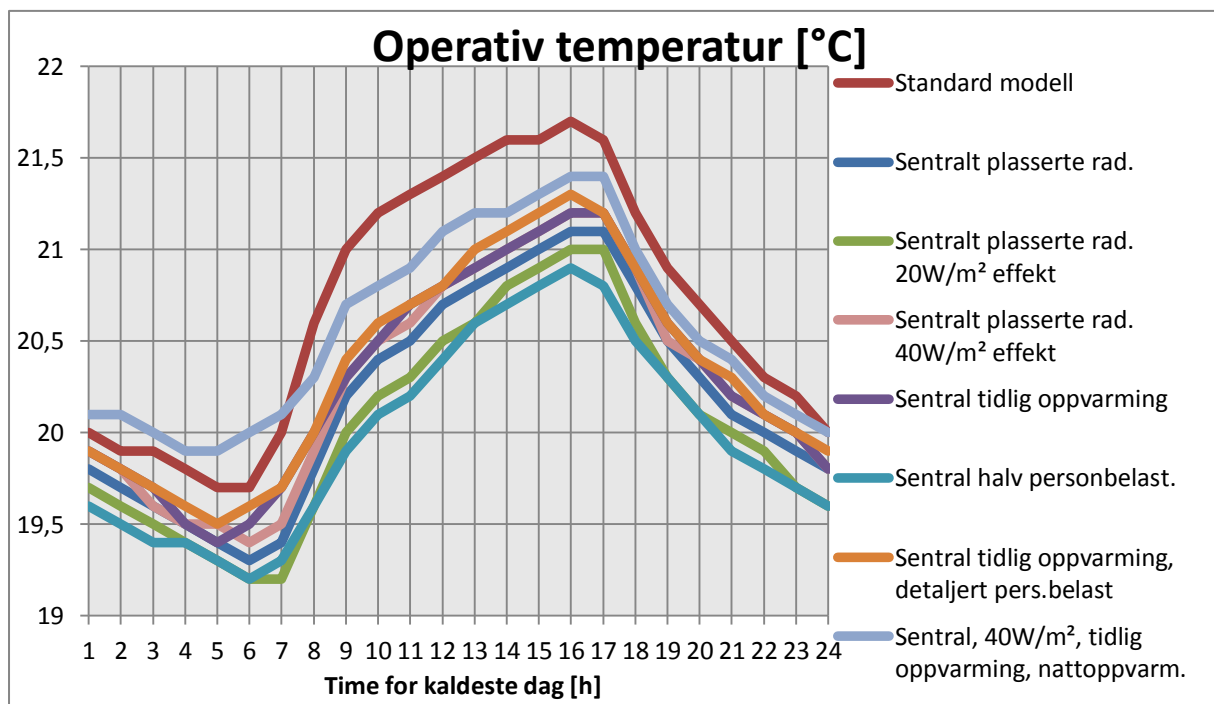
tilknyttet personbelastningen i barnehagen er viktig for dimensjonering av oppvarmingssystemet.

Modellen med mer detaljert personbelastning påvirker ikke temperaturprofilen i sonen i betydelig grad, og er lik modellen i simulering 5. Dette skyldes at personbelastningen for sonen er relativt lik gjennomsnittsverdien som ble benyttet i standardmodellen .

Sammenhengen mellom de ulike modellene vil påvirke energibehovet for bygningen og vil analyseres nærmere senere.

3.3.3.4 Simulering 8 – Kombinasjon av høyere effekt, tidligere oppvarming og nattoppvarming

Da ingen av de tidligere modellene har oppnådd tilfredstillende innetemperatur for dimensjonerende utetemperatur, modelleres bygningen nå med en kombinasjon av økt varmeavgivende effekt og tidligere settpunkt for oppvarming. I tillegg økes temperaturkravet for natta fra 19°C til 20°C. Kontroll av radiatorene følger da minimumstemperatur på 20°C fram til klokken 0500, og 21°C ut oppholdstiden. Resulterende temperaturprofil for modellen vises i figur 3-20 og sammenlignes for alle de tidligere modellene.



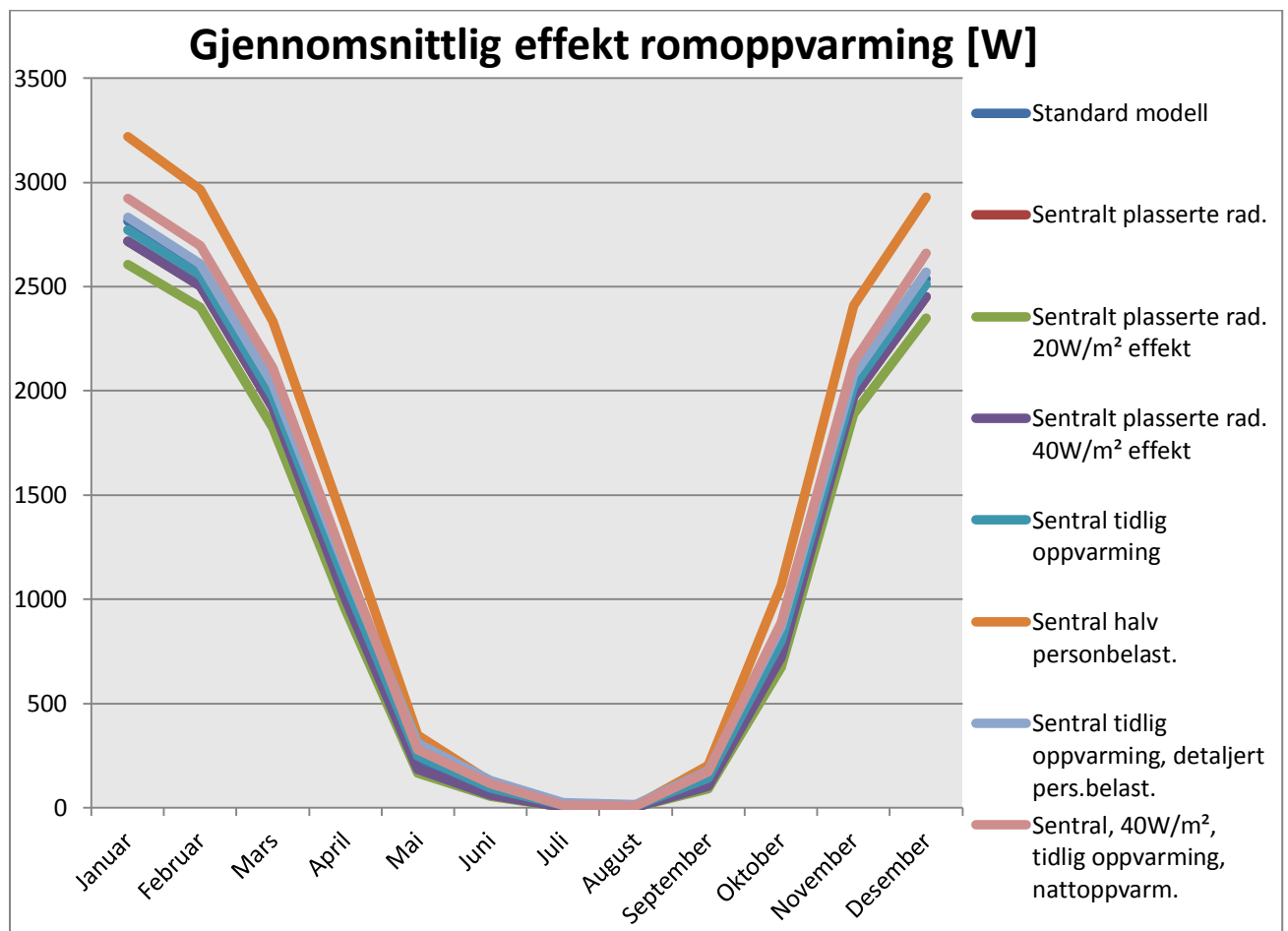
Figur 3-20 Operativ temperatur i sone ved kombinasjon av tiltak Vålandshaugen barnehage

Temperaturen holder seg rundt 20°C gjennom natten som bidrar til at temperaturløftet opp til kravet på 21°C blir mindre. Selv med kombinasjonen av tidligere oppvarming, høyere varmeavgivende effekt og nattoppvarming, viser resultatene problemer med å oppnå høy nok

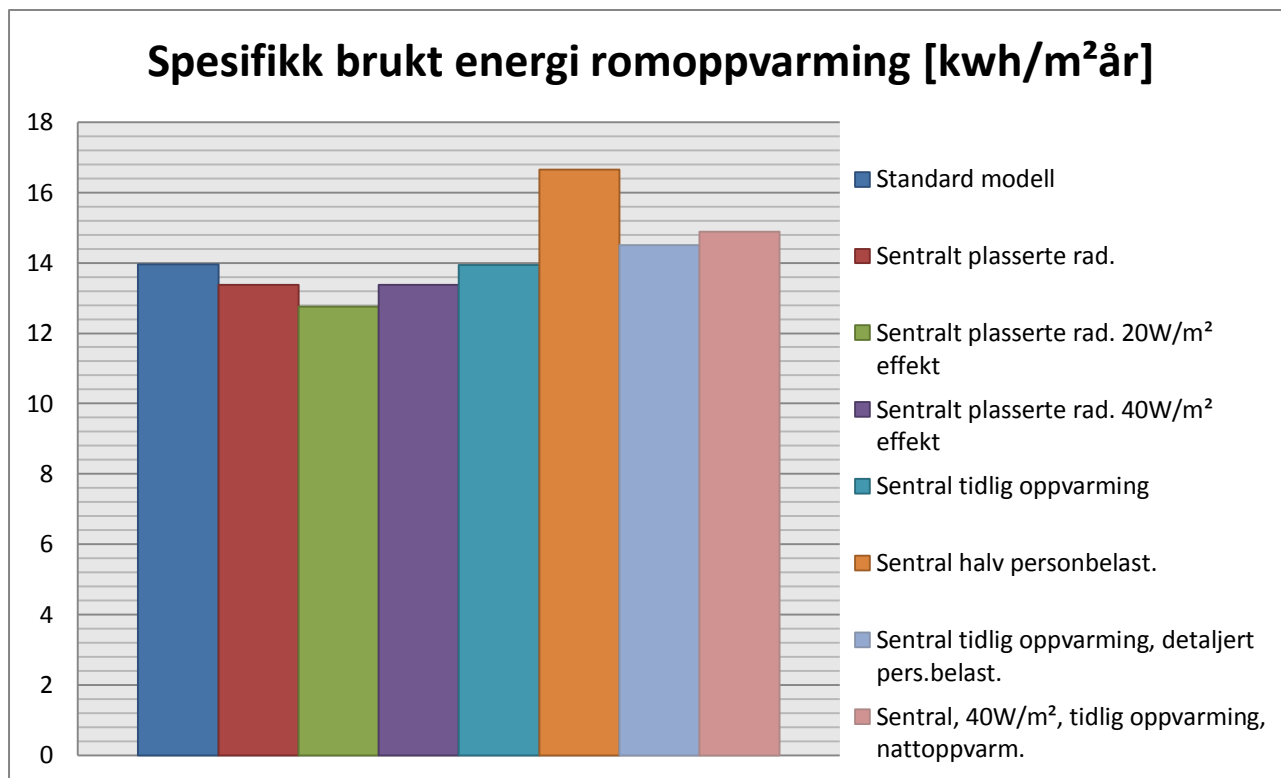
temperatur gjennom hele dagen. Resultatene representerer imidlertid den kaldeste dagen av året. For dette tilfellet oppnås kravet på 21°C ca kl 1130.

De ulike simuleringene har vist problemer med å oppnå temperaturkrav for oppholdstiden ved den antatte radiatorplasseringen. Temperaturen i sonen er avhengig både av maksimal varmeavgivende effekt fra nabosoner og styring av disse. Det kreves spesielt tiltak ved reduksjon av internlaster.

De ulike modellene påvirker også energibehovet i bygningen. Gjennomsnittlig effekt for romoppvarming i bygningen gjennom året, samt spesifikk energibehov til romoppvarming vises i figur 3-21 og 3-22 nedenfor for de ulike modellene.



Figur 3-21 Gjennomsnittlig effekt romoppvarming for de ulike modellene gjennom året Vålandshaugen barnehage



Figur 3-22 Spesifikk brukt energi romoppvarming for de ulike modellene Vålandshaugen barnehage

Resultatene viser både at effekt- og energibehovet til romoppvarmingen øker spesielt mye for modellen med halvert personbelastning, og skyldes at varmetilskuddet tilknyttet personbelastningen er redusert. Dette vil også være tilfellet ved reduksjon i andre varmetilskudd, for eksempel ved belysning, teknisk utstyr, solinnstråling eller lignende. For modellen med detaljert personbelastning, øker energibehovet til romoppvarming noe. Dette skyldes at varmetilskuddet fra brukere blir konsentrert i soner som brukes mest, og fører dermed til større oppvarmingsbehov i soner som brukes mindre da kravet til temperatur er likt for alle soner. Forskjellen er imidlertid relativt liten i dette eksempelet. Differansen i energibehovet til romoppvarming for de ulike modellene må sammenfattes med oppnådde temperaturnivå gjennom året, og gevinsten ved å sentralisere oppvarmingssystemet.

3.4 Universitetssykehuset Nord-Norge, UNN Tromsø

Universitetssykehuset Nord-Norge (UNN) i Tromsø skal bygge ny A-fløy. Prosjektet omfatter fløy A2 og A3, samt en gangbro til mellombygningen A/B. Bygningen inneholder blant annet forbedret akuttmottak, utvidet poliklinikk, økt operasjonskapasitet, dagkirurgi, spesialisert rehabilitering, laboratorium, samt økt intensivkapasitet og blodbankareal. Prosjektet omfatter både rehabilitering og nybygg, hvorav rehabilitering utgjør 5313m² og nybygg 11877m² oppvarmet BRA. Prosjektet omfatter plan 5 til 11, og foreløpig planlagt ferdigstillelse er satt til 15.08.2018 (Universitetssykehuset Nord-Norge HF, 2011).



Figur 3-23 Illustrasjon av ny A-fløy UNN Tromsø

3.4.1 Bygningskonstruksjon

Gjennomsnittlige tekniske data for bygningskroppen vises i tabell 3-11 på neste side, og sammenlignes med krav i NS 3701 “Kriterier for passivhus og lavenergihus – Yrkesbygninger”. Disse dataene benyttes som grunnlag for modellen i IDA-ICE. For å oppnå tilfredsstillende kuldebroverdi og lekkasjeall er det forutsatt at overganger i klimaskallet bygges med tilstrekkelig kuldebrytere samt god tetting (Universitetssykehuset Nord-Norge HF, 2011)

Oversikt bygningstekniske data	Verdier	Krav passivhusstandard
U-verdi, yttervegg	0,14 W/m ² K	0,15 W/m ² K
U-verdi, tak	0,09 W/m ² K	0,13 W/m ² K
U-verdi, gulv	0,10 W/m ² K	0,15 W/m ² K
U-verdi, vindu	0,80 W/m ² K	0,80 W/m ² K
U-verdi, ytterdør	0,80 W/m ² K	0,80 W/m ² K
Lekkasjetall	0,60 h ⁻¹	0,60 h ⁻¹
Normalisert kuldebroverdi ψ	0,03 W/m ² K	0,03 W/m ² K

Tabell 3-11 Inndata bygningstekniske data UNN Tromsø

3.4.2 Energiforsyning, ventilasjon og bruk

Som hovedenergiforsyning har UNN en avtale med Tromsø Kraft Varme AS om leveranse av fjernvarme. Denne krever at sykehuset skal dekke hele varmebehovet med fjernvarme, og gjelder både romoppvarming, oppvarming av ventilasjonsluft og varmtvann. Spillvarme kan likevel utnyttes fra kjølekretser og lignende (intern varmeutnyttelse), men dette tas ikke med i modellen.

Oversikt energiforsyning	Verdier	Kommentar
Fjernvarme som bunn- og topplast	100% energidekning	Varmeavgivelse ved sentralt plasserte radiatorer.
Gjennomsnittlig COP	0,86	
Årlig spesifikt energibehov til varmtvann	29,8kWh/m ² år	
Settpunkt oppvarming	20 °C	Settpunktet og driftstid er likt for alle soner.
Driftstid oppvarming	24 h	

Tabell 3-12 Inndata energiforsyning UNN Tromsø

I forprosjektet til utbyggingen presenteres et ventilasjonssystemet basert på behovsstyrt omrøringsventilasjon med varmegjenvinning (Universitetssykehuset Nord-Norge HF, 2011). For standardmodellen velges det imidlertid å benytte gjennomsnittlige konstante luftmengder. Dette gjøres da tilgjengelige prosjekterte data for bygningen også baseres på konstante luftmengder. Senere i analysen gjøres det imidlertid antagelser som benytter behovsstyring.

Siden det kan oppstå kontakt mellom tilluft- og avtrekkslufta i en roterende varmegjenvinner, er det mulig at forurensninger og spredning mellom luftstrømmene oppstår. I soner med økt risiko for forurensninger og smitte, benyttes da batterivarmegjenvinner med lavere effektivitet. Aggregatstørrelser, kanalføringer og komponenter er utformet for å redusere SFP for anlegget, og reduserer dermed energibehovet. Kjøling av ventilasjonsluft og

prosesskjøling dekkes av kjølebatteri og kjølemaskiner koblet til tørrkjølere på tak. Noe av kjølevarmen utnyttes til oppvarming men dette tas ikke med i modellen. Nøkkeltall for ventilasjon og internlaster vises i tabell 3-13 nedenfor, og baseres på prosjekterte verdier (Universitetssykehuset Nord-Norge HF, 2011).

Oversikt ventilasjon og internlaster	Verdier	Krav passivhusstandard/tek10
Roterende varmegjenvinner	85% virkningsgrad	
Batterivarmegjenvinner	65% virkningsgrad	80% virkningsgrad
SFP-faktor	1,5 kW/(m ³ /s)	1,5 kW/(m ³ /s)
Luftmengde utenom driftstid	3,0 m ³ /m ² h	0,7 m ³ /m ² h for tomme rom
Luftmengde driftstid	9,0 m ³ /m ² h	2,5 m ³ /m ² h + 26 m ³ /h*person under drift
Settpunkt ventilasjonskjøling	22 °C	
Driftstid ventilasjon	16 h	
Effektbehov belysning	5 W/m ²	5 W/m ²
Internlast belysning	5 W/m ²	5 W/m ²
Effektbehov teknisk utstyr	8 W/m ²	8 W/m ²
Internlast teknisk utstyr	8 W/m ²	8 W/m ²
Gjennomsnittlig personbelastning	2 W/m ² 0,02 person/m ²	2W/m ²

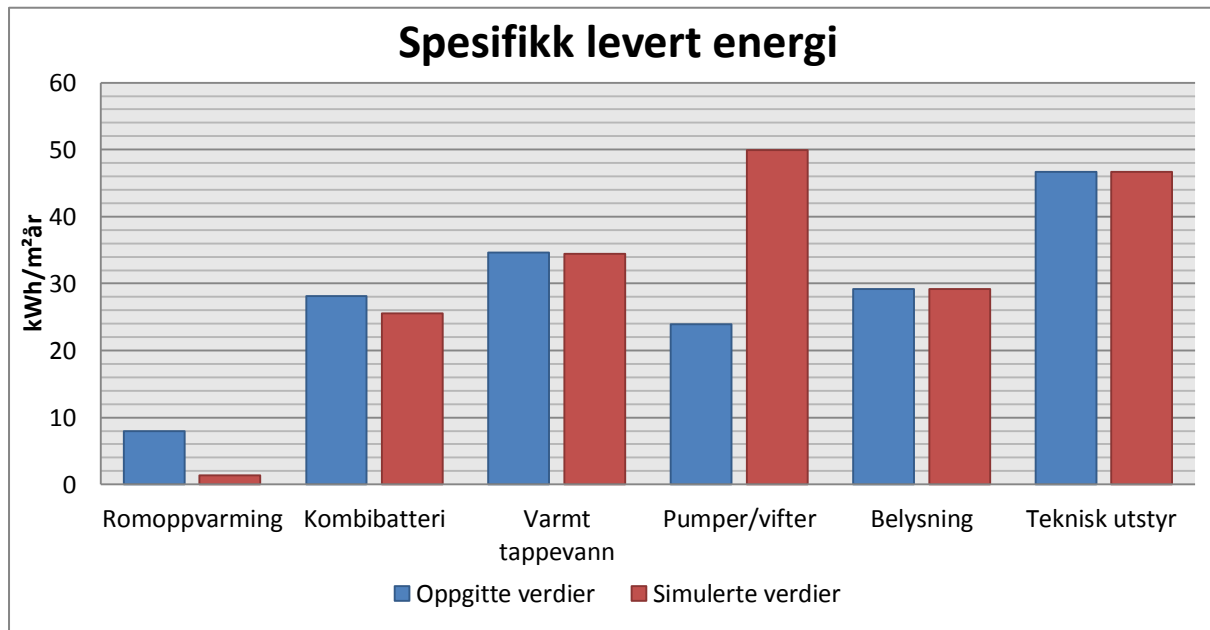
Tabell 3-13 Inndata ventilasjon og internlaster UNN Tromsø

Energibehovet til belysning og teknisk utstyr er relativt høyt for sykehus. Dette skyldes krav til gode lysforhold for store deler av dagen. Riktig utforming av lysanlegg er derfor viktig. I tillegg til å benytte lavenergi-lyskilder er det viktig med behovsstyring og dagslyssensorer for kilder nær fasader. Gjennomsnittlig driftstid for belysning og teknisk utstyr er satt til 16 timer/dag. For sykehus er tilfredstillende inn klima svært viktig. Riktig dimensjonering av ventilasjon, oppvarming, kjøling, samt benyttelse av lavtempererende materialer er avgjørende for å oppnå dette.

3.4.3 Energi- og klimasimulering i IDA-ICE

Figur 3-24 nedenfor viser simulerte verdier for spesifikk levert energi for modellen i IDA-ICE, og sammenlignes med tilgjengelige tidligere simulerte verdier gjort i prosjekteringsfasen

(Universitetssykehuset Nord-Norge HF, 2011).



Figur 3-24 Spesifikk levert energi UNN Tromsø

Figuren viser at energibruk knyttet til vifter i ventilasjonssystemet er vesentlig høyere enn oppgitte verdier. For standardmodellen er luftmengder antatt å holdes konstant lik $3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ utenfor driftstiden og $9 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ i driftstiden for alle soner. Her er driftstiden for ventilasjonssystemet antatt for 16 timer av dagen fra kl 0600 til 2200. Dette skyldes en større belastning fra mennesker og utstyr om dagen enn om natta. For sykehus er krav til inneklimate og luftkvalitet svært strenge, og skyldes blant annet innvirkning på helse for syke pasienter. Dette gjør at tilstrekkelige luftmengder for tilluft og avtrekk må opprettholdes for store deler av døgnet. Relativt høye verdier for luftmengder er dermed benyttet og resulterer i høy energibruk til vifter totalt sett for sykehuset.

Unøyaktigheter og avvik fra oppgitte verdier og ellers til reelle verdier kan skyldes ulikheter i inndelingen av ventilasjonssystemet. I standardmodellen er alle soner i bygget basert på CAV, noe som gjør at mye av energien går tapt dersom behovet for friskluft er mindre. Senere i oppgaven analyseres energibehovet knyttet til ventilasjonsanlegget ved å benytte behovsstyring. Avvik finnes også for energibehovet knyttet til romoppvarming, som er lavere enn oppgitte verdier. Dette er direkte knyttet til luftmengder i sonene og settpunkt for tilluftstemperaturen. For sykehuset er det valgt å styre tilluftstemperaturen gjennom utetemperaturen, såkalt utekompensering. Ved å redusere luftmengdene vil energibruk til kombibatteriet og romoppvarming også reduseres. Spørsmålet er da hvor mye luftmengdene kan reduseres for å opprettholde et godt inneklimate.

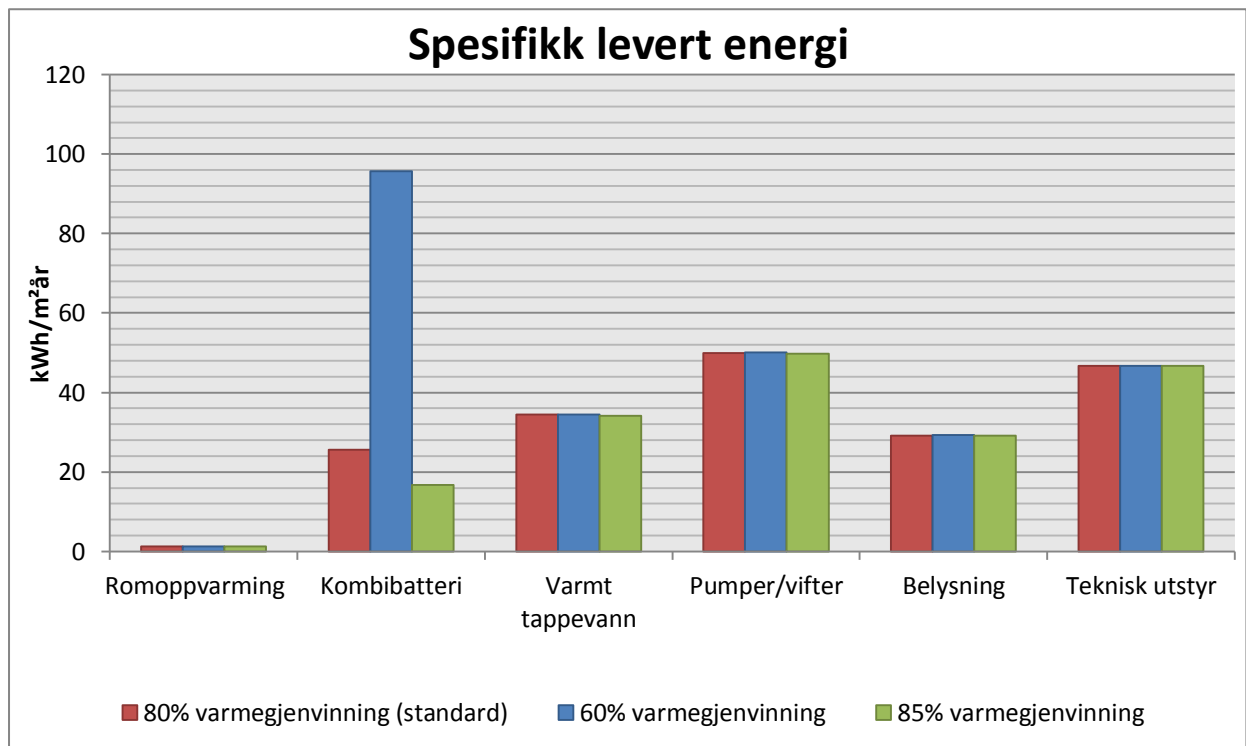
Sammenlignet med andre typer bygg som boligbygg og kontorbygg, utgjør energibehovet til ventilasjonssystemet en relativt stor del av det totale energibehovet i sykehus. Dette skyldes som nevnt strengere krav til inneklime. For å redusere energibehovet er det dermed viktig med god varmegjenvinning fra avtreksufta. Gjenvinningsgraden eller effektiviteten på varmegjenvinneren i ventilasjonssystemet avhenger av type og størrelse på varmeveksler, samt varmeoverføringsegenskaper for systemene (Nilsson, 2003). Høyest virkningsgrad oppnås i regenerative system, for eksempel ved en roterende varmeveksler, og ligger i størrelsesorden 70-85%. Her kan det imidlertid oppstå lekkasjer på 0,2-2,4% mellom avtrekk og tilluft, og er noe som må unngås for enkelte rom med fare for smitte og forurensninger i sykehus (Petersen et al., 2009). For å unngå denne faren, kan batterivarmegjenvinnere med virkningsgrad i størrelsesorden 50-60% benyttes (Nilsson, 2003). Her er det ingen kontakt mellom tilluft og avtrekk som ved det roterende systemet. Modellen endres nå for å se på innvirkninger varmegjenvinneren har for det totale systemet, og å synliggjøre endringer i energibehovet ved å forandre systemet.

3.4.3.1 Simulering 2 og 3 -Endring av virkningsgrad for varmegjenvinner

I simulering 2 og 3 endres modellen for sykehuset først ved å redusere virkningsgraden for varmegjenvinning i ventilasjonssystemet fra 80 til 60% i simulering 2, for deretter økes til 85% i simulering 3. Dette gjøres for å analysere effekten virkningsgraden på varmegjenvinneren i ventilasjonssystemet har på det totale energibehovet for sykehuset. Dette er interessant da enkelte soner i sykehus må benytte seg av system med lavere virkningsgrad for å hindre lekkasje og forurensninger. Som en forenkling er det antatt at virkningsgraden i modellene er gjennomsnittsverdier som gjelder for alle soner i bygget. Selv om dette ikke er reelt for sykehuset, poengteres fortsatt ulikheter ved endringen. Naturlig vil derfor den totale endringen i energibehovet være større i denne analysen enn dersom kun deler av bygningen hadde gjennomgått forandringen.

Total årlig energibehov for de 2 tilstandene i tillegg til standard modell med 80% virkningsgrad er representert i figur 3-25 nedenfor, og er representert på samme måte som

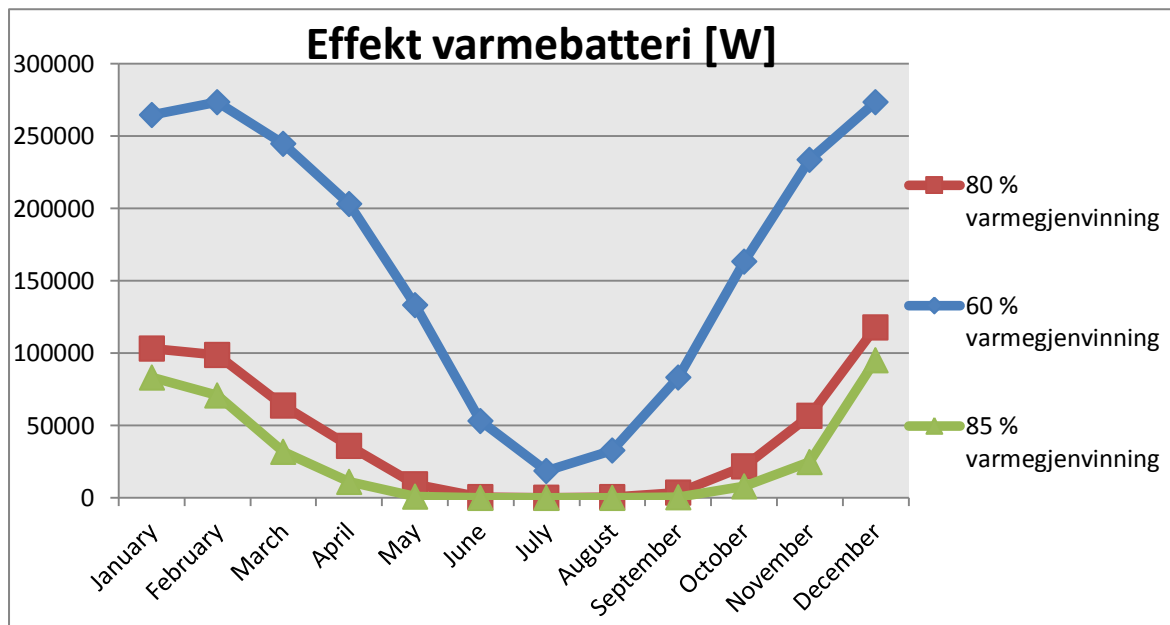
tidligere figurer i 6 kategorier.



Figur 3-25 Spesifikk levert energi for endret virkningsgrad varmegjenvinner UNN Tromsø

Selv om simuleringene med endret virkningsgrad bare påvirker energibehovet til kombibatteriet, tas resten av kategoriene med for å representere størrelsesorden på endringene. Ved å redusere virkningsgraden fra 80% til 60% vil spesifikk levert energi økes fra 25,5 til 95,7 kWh/m²år for kombibatteriet. Ved å øke virkningsgraden fra 80% til 85% vil spesifikk levert energi her reduseres fra 25,5 til 16,7 kWh/m²år. Innvirkningen av å redusere virkningsgraden er betydelig større enn å øke den. Energisparingen ved å benytte et ventilasjonssystem med høy varmegjenvinning er altså svært høy. Andelen energi til kjøling i kombibatteriet er svært liten, og tilsvarer kun 4%. Figur 3-26 nedenfor sammenligner derfor

effektbehovet til oppvarming av tillufta i ventilasjonssystemet på årsbasis for de 3 modellene.



Figur 3-26 Effekt varmebatteri gjennom året ved ulike virkningsgrader på varmegjenvinner UNN Tromsø

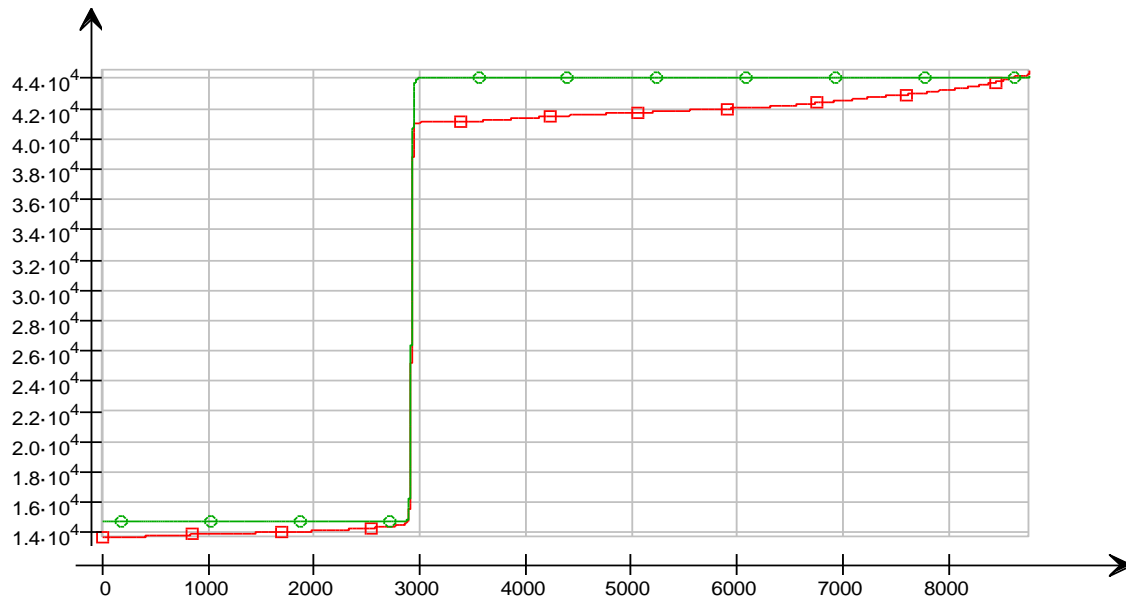
Figuren viser et generelt større effektbehov for store deler av året ved reduksjon til 60% i virkningsgraden. I tillegg til dette har driftstiden for varmebatteriet økt og må kjøres hele året. Til sammenligning viser grafen at effektbehovet er tilnærmet 0 for 80 og 85% virkningsgrad i sommerperioden juni – august. Dette skyldes at bidraget som gjenvinnes fra avtrekkslufta er tilstrekkelig for å varme tillufta til temperatursettpunktet. Vedlegg D viser størrelsesorden for energibehovet til varmebatteriet sammenlignet med hvor mye som gjenvinnes i varmegjenvinneren for de 3 modellene. Når behovet for oppvarming av tillufta er lavt ved høye utetemperaturer på sommerstid blir forskjellen i utnyttet energi fra varmegjenvinningen liten. Dette skyldes at behovet for energi er svært lavt. På andre siden er det store forskjeller ved lave utetemperaturer. Energibesparelsen avhenger altså av uteklimaet der bygningen er lokalisert.

Resultatene for energisparing ved forskjellige virkningsgrader er svært avhengig av settpunktet for tillufta i ventilasjonssystemet. Altså hvilken temperatur tillufta skal varmes opp til. Økes kravet til denne vil energibehovet knyttet til oppvarmingen av tillufta være høyere, noe som ville resultert i større utslag ved en reduksjon av virkningsgrad for varmegjenvinningen. Dette er naturlig nok motsatt i tilfellet der settpunktet reduseres. I tillegg til settpunkttemperatur for tillufta er energibesparelsen ved en økning i virkningsgrad for varmegjenvinneren avhengig av luftmengder for ventilasjonsanlegget. Dette skyldes at

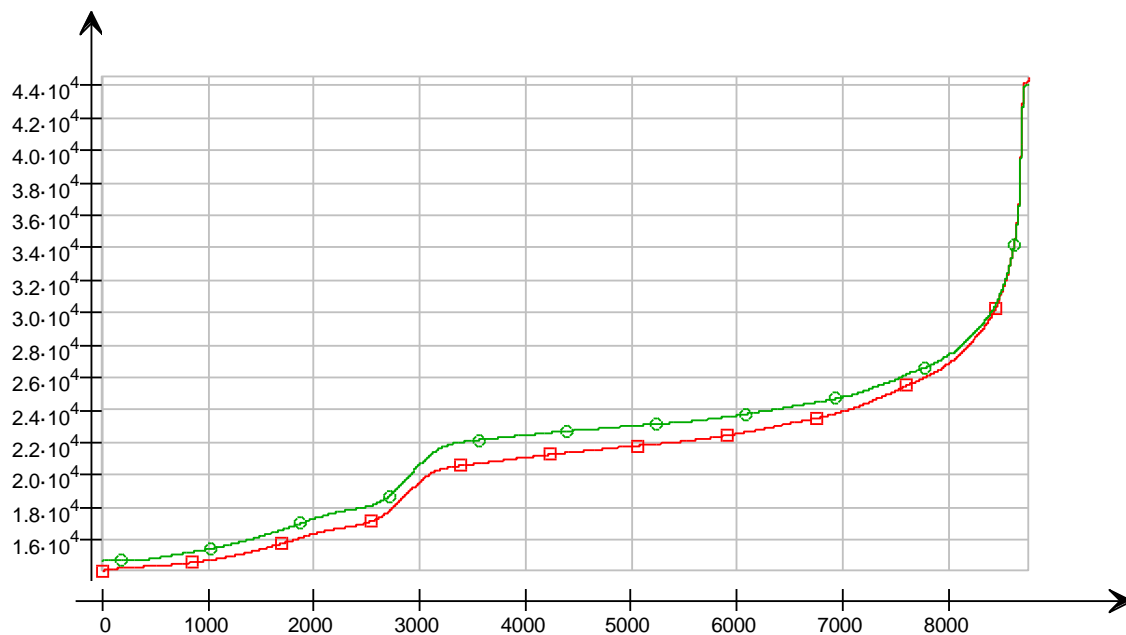
mere luft må varmes opp av varmebatteriet ved høyere luftmengder. Dersom luftmengdene hadde blitt redusert, ville også energibehovet blitt redusert, og effekten av virkningsgraden for varmegjenvinningen blitt mindre. Dette analyseres videre i simulering 4.

3.4.3.2 Simulering 4 – Behovsstyring av ventilasjon

I simulering 4 endres nå modellen slik at luftmengder er behovsstyrt (VAV) ved temperatur- og CO₂ sensorer i sonene. Minimumsluftmengder for døgnet er fortsatt 3,0 m³/m²h, mens maksimumluftmengder er 9.0 m³/m²h. I motsetning til standardmodellen med konstante luftmengder vil altså luftmengdene nå variere mellom disse ytterpunktene basert etter behov. Figur 3-27 nedenfor viser en varighetskurve for totale luftmengder gjennom året for hele bygget for standardmodellen med CAV og endringen til VAV, ved tidligere antatte verdier for internlast og bruk.



—□— Return air flow, L/s
—○— Supply air flow, L/s

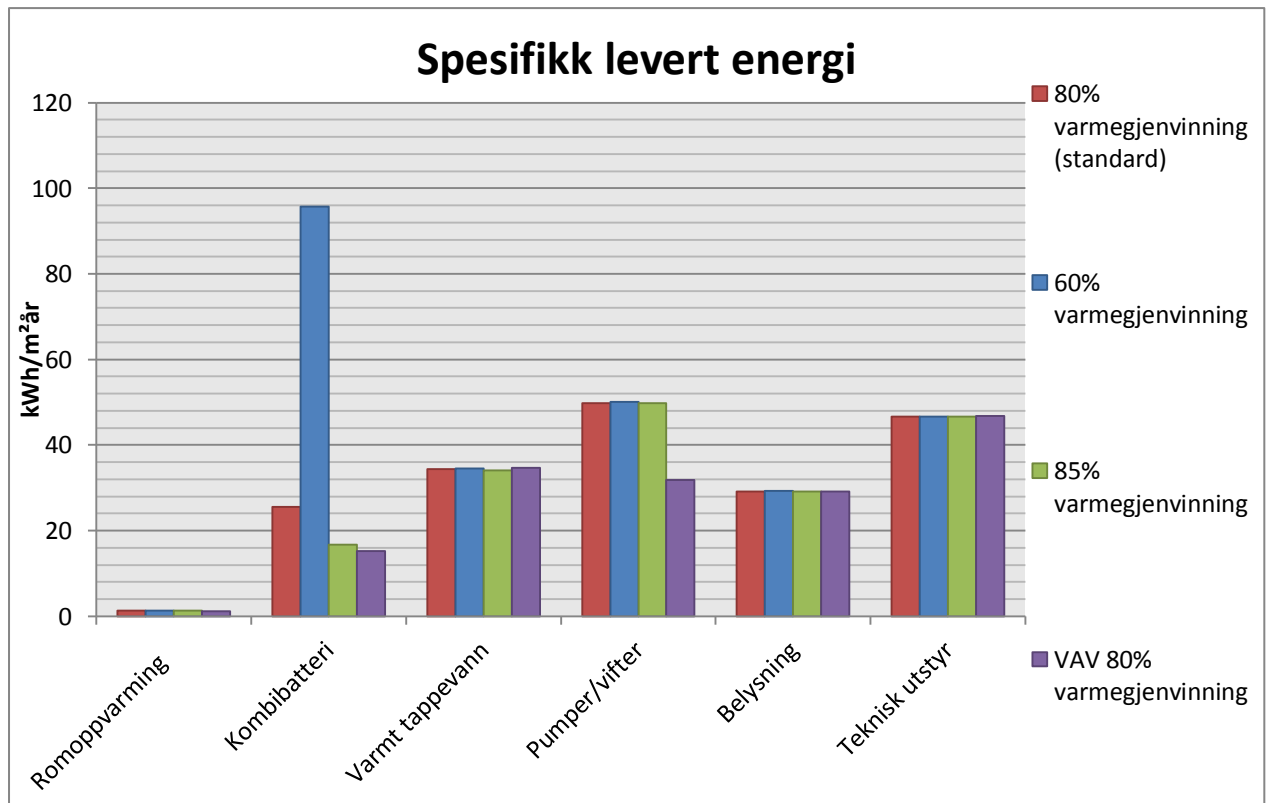


—□— Return air flow, L/s
—○— Supply air flow, L/s

Figur 3-27 Varighetskurve for luftmengder for modellen med CAV (øverst) og VAV (nederst) UNN Tromsø

Ved å benytte VAV med gitte minimums- og maksimumsluftmengder viser figuren at resulterende luftmengder er mye lavere sammenlignet med ventilasjonen basert på konstante luftmengder. Dette viser at behovet for friskluft er lavere enn i standardmodellen. De

varmeste sommermånedene øker behovet for friskluft på grunn av at innertemperaturen øker over settpunktet for kjøling. Simuleringen viser at gjennomsnittsluftmengder for hele året, både tilluft og avtrekk blir 33523,4 L/s tilsvarende 6,8 m³/m²h for modellen med CAV, og 21424,9 L/s tilsvarende 4,4 m³/m²h for modellen med VAV. Resulterende spesifikk levert energi for sykehuset vises i figur 3-28 nedenfor og sammenlignes med tidligere modeller.



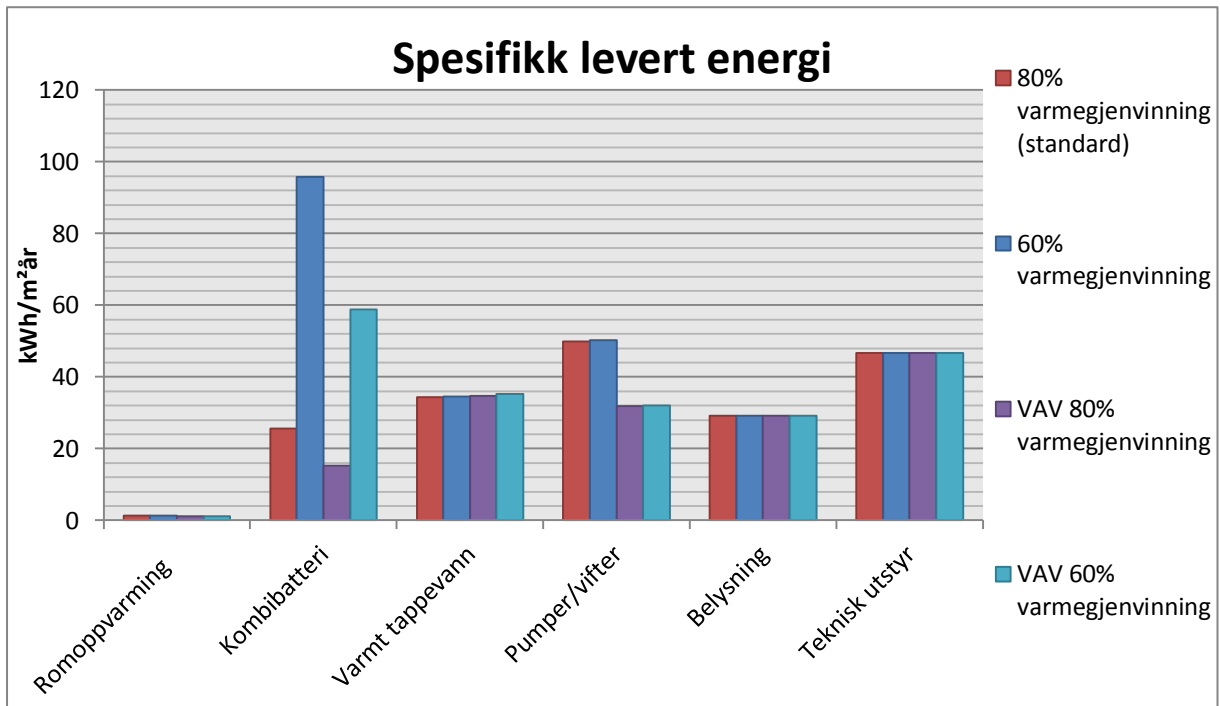
Figur 3-28 Spesifikk levert energi for modell med VAV UNN Tromsø

Ved å endre ventilasjonsprinsippet til VAV er energibehovet til vifter i ventilasjonssystemet redusert fra 59,9 til 31,9 kWh/m²år, som et resultat av reduserte luftmengder i sonene. Dette reduserer også energibehovet til kombibatteriet, på grunn av at mindre luft må varmes opp til settpunktet for tillufta.

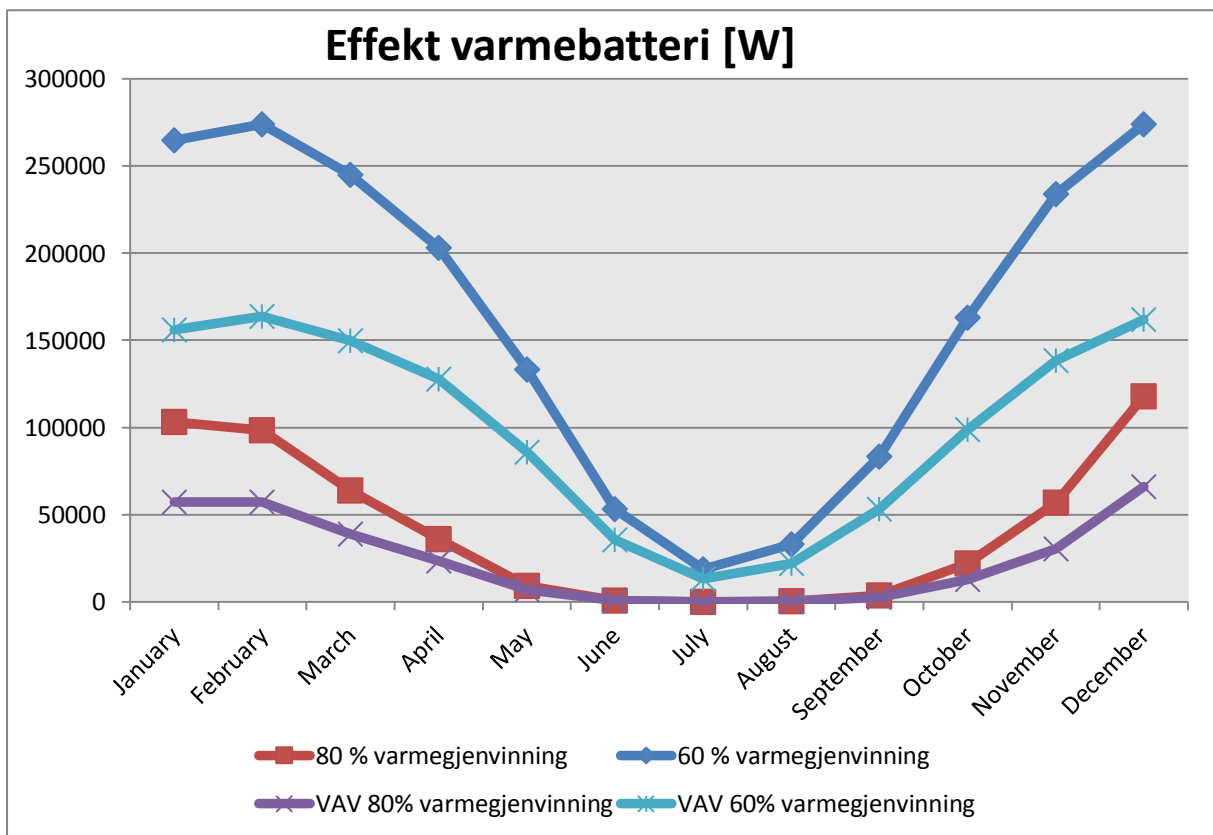
3.4.3.3 Simulering 5 - Behovsstyring og redusert virkningsgrad for varmegjenvinner

For å videre framheve effekten ved å endre ventilasjonsprinsippet og virkningsgrad på varmegjenvinneren i ventilasjonssystemet, endres modellen nå til 60% virkningsgrad med VAV fra simulering 4. Slik kan energireduksjon sammenlignes for de 2 systemene ved lik

endring i virkningsgrad.



Figur 3-29 Spesifikk levert energi for modell med VAV og redusert virkningsgrad på varmegjenvinner UNN Tromsø

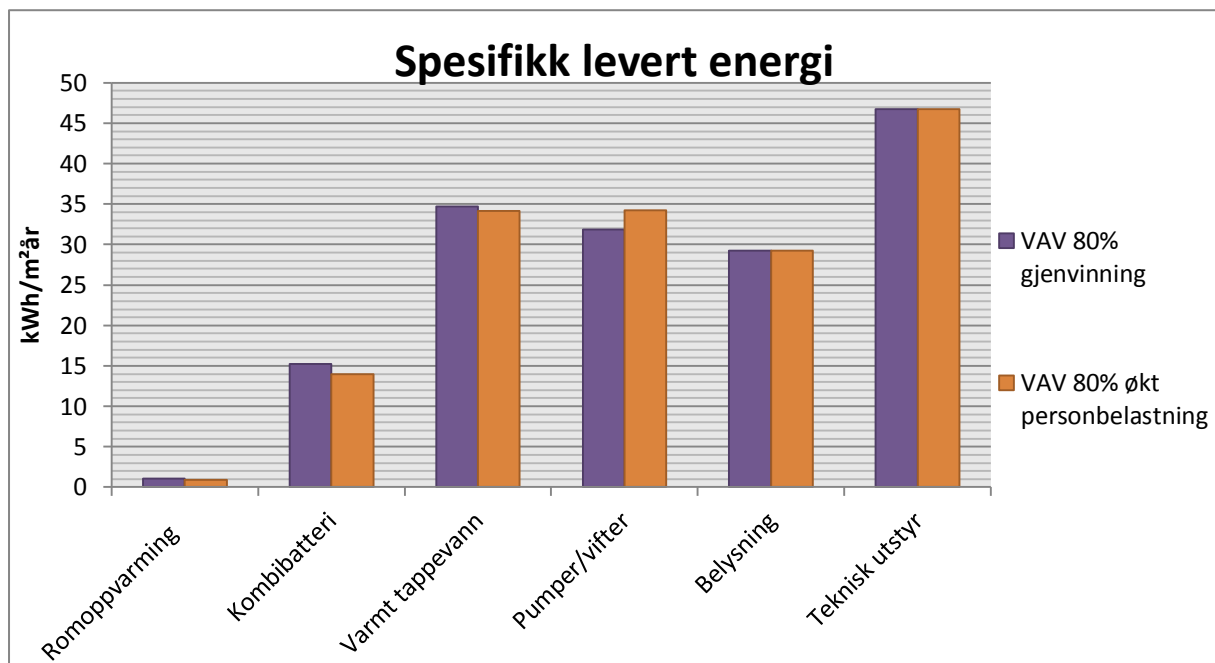


Figur 3-30 Effekt varmebatteri gjennom året for modell med VAV og redusert virkningsgrad på varmegjenvinner UNN Tromsø

Resultatene viser at økningen i spesifikk levert energi til kombibatteriet ved å redusere virkningsgraden for varmegjenvinneren fra 80% til 60% for VAV systemet tilsvarer 43,5 kWh/m²år mens økningen for CAV systemet tilsvarer 70,2 kWh/m²år. Forskjellen er altså stor og avhenger blant annet av dimensjonering og drift av ventilasjonssystemet.

3.4.3.4 Simulering 6 – økt personbelastning

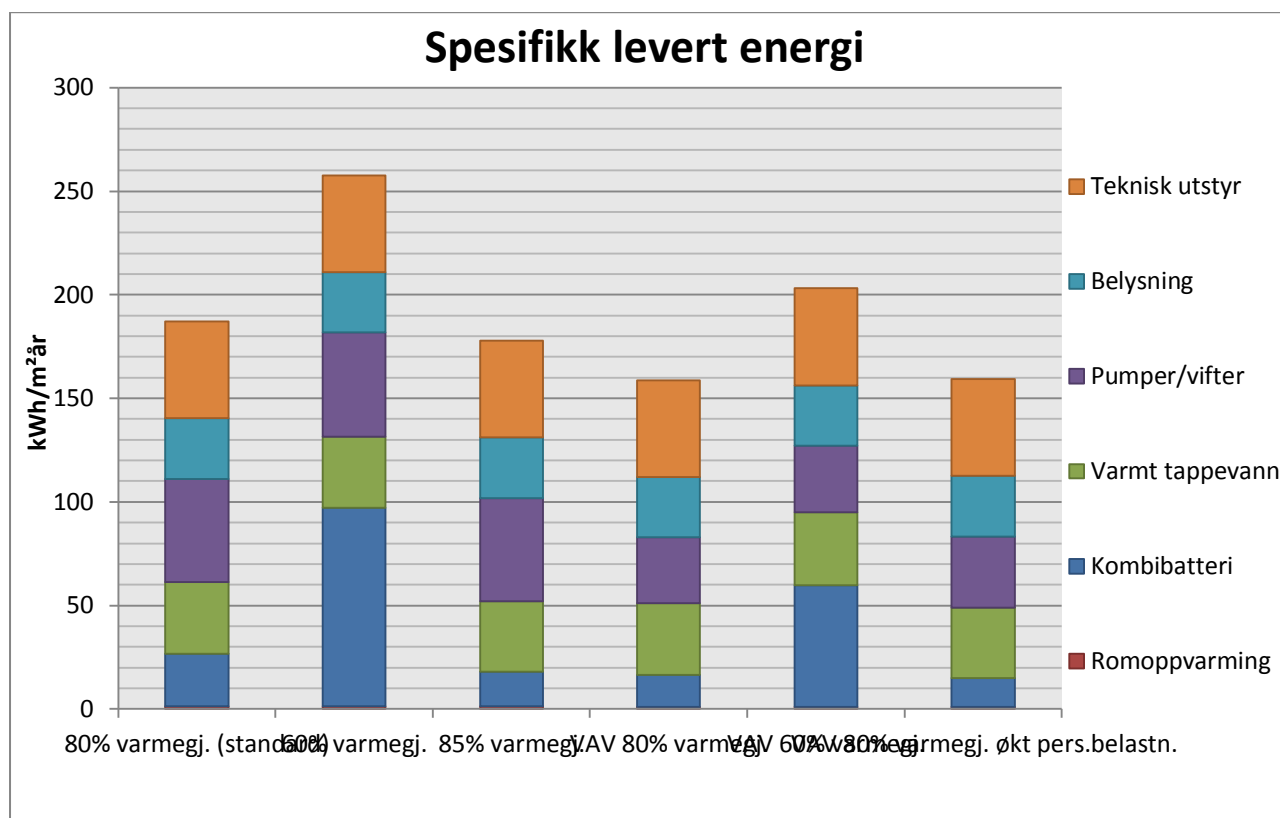
Modellen endres nå tilbake til VAV systemet med 80% varmegjenvinning, mens personbelastning fra mennesker i sykehuset økes fra 0,019W/m² til 0,06W/m² for utvalgte soner. Disse sonene tilsvarer ca 50% av det totale arealet, og gjelder soner som har stor grad av usikkerhet knyttet til personbelastningen. Dette omfatter blant annet møte og pauserom, korridorer, operasjonsrom, undersøkelse og akuttområder. Figur 3-31 nedenfor sammenligner spesifikk levert energi for endringen.



Figur 3-31 Spesifikk levert energi for modell med VAV og økt personbelastning UNN Tromsø

Ved å øke personbelastningen øker energi til vifter i ventilasjonssystemet, på grunn av et større behov for tilluft. Gjennomsnittsluftmengder for hele året, både tilluft og avtrekk blir nå 20341,3 L/s tilsvarende 4,1 m³/m²h. Dette tilsvarer en gjennomsnittlig økning på 0,4 m³/m²h, og skyldes økning i personbelastningen. Den ekstra personbelastningen øker temperaturen i sonene, som gjør at mer energi overføres fra avtrekk via varmegjenvinneren til tillufta. Dette reduserer energibehovet til oppvarming av tillufta noe.

Energibehovet til romoppvarming er noe redusert og skyldes varmeoverføringen til sonene som kommer av den økte personbelastningen. Energibehovet er uansett svært lavt for alle modellene.



Figur 3-32 Netto spesifikk levert energi for de ulike modellene UNN Tromsø

En oppsummering av alle modeller med tanke på netto spesifikk levert energi vises i figur 3-32 ovenfor. Energibehovet for bygningen er svært avhengig både av virkningsgraden på varmegjenvinner og luftmengder tilknyttet ventilasjonssystemet. For kombinasjonen av lav virkningsgrad og høye gjennomsnittlige luftmengder gir dette utslag i et svært høyt energibehov. Økning i virkningsgrad fra 80% til 85% utgjør ikke like store utslag.

Kombinasjon av høye varmetilkudd fra belysning, teknisk utstyr og personer, samt et relativt lavt settpunkt for innetemperatur på 20°C, fører til at energibehovet til romoppvarming er svært lavt.

3.5 Powerhouse Kjørbo

Kjørboparken er lokalisert sentralt i Sandvika i Bærum kommune og består av en rekke kontorbygninger som ble oppført sent på 70-tallet. Tidligere har to av bygningene gjennomgått en omfattende rehabilitering til passivhusstandard og er nå oppgradert til powerhousestandard. Målet for prosjektet er å produsere mer energi enn det som brukes når en inkluderer energi til både drift og bunden energi for hele livssyklusen. Løsningen inkluderer målere og energioppfølgingssystem som gir detaljert oversikt over energibruk, inneklima, tilstedeværelse og generell bruk av bygningene. Dette er viktig for å tilegne seg kunnskap om hvordan denne type bygninger blir brukt i praksis, og vil være viktig for videre utvikling av mer energieffektive løsninger i bygninger. Powerhouse Kjørbo skal vise at lønnsomme, energipositive næringsbygg er mulig, også i Norge. Prosjektet vil videre stimulere til økt ambisjonsnivå og bedre ytelse for en stor andel av fremtidens bygg. I tillegg til energibesparelse har Powerhouse Kjørbo et stort fokus på innemiljø, og skal blant annet ha oppnådd “outstanding” i sertifiseringssystemet BREEAM (Jenssen, 2013).



Figur 3-33 Powehouse Kjørbo i Sandvika

Kjørboparken består av 5 kvadratiske kontorbygninger, med mellomliggende trappe- og heisrom. Disse er koblet sammen med glassbroer til et lavere sirkulært bygg som inneholder fellesfunksjoner som konferanserom og kantine. Rehabiliteringen til powerhousestandard

omfatter bygg 4 og 5, der totalt oppvarmet bruksareal for de to bygningene er beregnet til 5180m². Bygg 4 er bygd i 4 etasjer med teknisk rom i kjeller, mens bygg 5 er bygd i 3 etasjer i tillegg til kjeller. Etasjer over bakkenivå består hovedsakelig av åpne landskap og cellekontor plassert langs fasadene. I de to neste avsnittene følger relevante tekniske data for de 2 bygningene.

3.5.1 Bygningskonstruksjon

I tillegg til lokal kraftproduksjon innebærer rehabiliteringen til powerhousestandard blant annet nye fasader og innvendige bygningselementer. Den gamle bærekonstruksjonen beholdes. Gjennomsnittlige bygningstekniske data for de 2 bygningene med mellomliggende trapperom vises i tabell 3-14 nedenfor. Verdiene sammenlignes med krav i NS3701 “Kriterier for passivhus og lavenergihus – Yrkesbygninger”.

Oversikt bygningstekniske data	Verdier	Krav passivhusstandard
U-verdi, yttervegg	0,13 W/m ² K	0,15 W/m ² K
U-verdi, tak	0,08 W/m ² K	0,13 W/m ² K
U-verdi, gulv	0,14 W/m ² K	0,15 W/m ² K
U-verdi, vindu	0,80 W/m ² K	0,80 W/m ² K
U-verdi, ytterdør	0,80 W/m ² K	0,80 W/m ² K
Lekkasjetall	0,50 h ⁻¹	0,60 h ⁻¹
Normalisert kuldebroverdi, ψ	0,02 W/m ² K	0,03 W/m ² K

Tabell 3-14 Inndata bygningstekniske data Powerhouse Kjørbo

I stedet for akustisk himling er det benyttet eksponert betong i himlingen. Betongen utgjør en termisk masse som bidrar til å øke “tregheten” ved temperaturdifferanser. For sommerhalvåret vil dette si at bygget holder seg kjølig lengre ved en større mulighet for å motta overskuddsvarme om dagen. Dette reduserer dermed behovet for kjøling. Siden tregheten er større, vil oppvarmingen for vinterhalvåret ta lengre tid, og er noe som må tas hensyn til. For å videre redusere behovet for kjøling i sommermånedene er det benyttet utvendig solskjerming med styring for energieffektiv og fleksibel dagslysstyring (Jenssen, 2013).

3.5.2 Energiforsyning, ventilasjon og bruk

Som energiforsyning er det installert 2 stykk væske/vann bergvarmepumper som er dimensjonert for å dekke hele energibehovet til både romoppvarming og oppvarming av varmt tappevann. For å optimalisere anlegget er det svært viktig med rett utforming med tanke på ulike krav til temperaturnivå innen oppvarming av ventilasjonsluft, romoppvarming og varmtvann. Oppvarmingen vil skje ved et vannbårent oppvarmingssystem, der radiatorer

benyttes for varmeavgivelse. Disse er dimensjonert for en lav turtemperatur på 50 °C (Jenssen, 2013). På grunn av lave transmisjon- og infiltrasjonstap gjennom bygningskroppen, er energibehovet til romoppvarming særdeles lavt. Radiatoranlegget kan dermed begrenses til større enheter lokalisert i landskapsområdene. Dette reduserer behovet for rørføringer som fører til redusert varmetap, færre komponenter, redusert pumpedrift og redusert bunden energi? Alt dette fører til redusert energibehov og reduserte kostnader. For å oppnå tilstrekkelig temperatur i kontorene gjennom de kaldeste vintermånedene, må dører da holdes åpne utenfor driftstid, samtidig som temperaturen for landskapene holdes noe høyere enn vanlig. Dette stiller visse krav til bruk, og er noe som må tas hensyn til under drift.

For å oppnå powerhousestandard må lokal energiproduksjon overgå energibruk til drift i tillegg til bunden energi for hele livssyklusen til byggene. Da må solcelleanlegget optimaliseres slik at mest mulig energi produseres. Viktige faktorer for dette er blant annet helningsvinkeler, orientering, solcelleteknologi og bunden energi. Videre er solinnstrålingen sterkt avhengig av geografisk beliggenhet. Valget i dette prosjektet falt på høyeffektive solceller fra Sunpower montert i 10 graders øst/vest helningsvinkel som vist i figur 3-34 (Bernhard, 2013).



Figur 3-34 Monterte solcellepanel Powerhouse Kjørbo

Dette ble ansett som den beste løsningen blant annet for å optimalisere tilgjengelig takareal. I tillegg til taket på bygning 4 og 5 er det utnyttet deler av taket for et felles parkeringsanlegg for Kjørbo-parken. Et kriterium for at dette kunne gjøres var at prosjektet ikke skulle hindre andre nærliggende bygg i å oppnå samme powerhousemål (Jenssen 2013).

Tabell 3-15 nedenfor viser nøkkeltall for energiforyningen.

Oversikt energiforsyning	Verdier	Kommentar
Væske/vann bergvarmepumper til topp- og bunnlast	100% Energidekningsgrad	Varmeavgivelse romoppvarming ved sentralt plasserte radiatorer.
Gjennomsnittlig COP varmtvann	1,95	Tall for COP baseres på målte data i perioden april 2014 til mars 2015 (Jenssen 2015).
Gjennomsnittlig COP øvrig oppvarming	4,12	
Årlig spesifikt energibehov til varmtvann	5 kWh/m ² år	
Årlig lokal energiproduksjon solcelleanlegg	133567 kWh/år 25,8 kWh/m ² år	Basert på målte verdier for perioden april 2014 til mars 2015 (Jenssen 2015).
Settpunkt oppvarming	20 °C	Settpunktet og driftstid er likt for alle soner.
Driftstid oppvarming	0700 - 1730	

Tabell 3-15 Inndata energiforsyning Powerhouse Kjørbo

Ventilasjonsprinsippet for kontorbygningene er basert på fortreningsventilasjon som gir høy effektivitet på grunn av lave trykk sammenlignet med omrøringsventilasjon. Planløsningen for Powerhouse Kjørbo tar sikte på å dele inn hensiktsmessige ventilasjonssoner. Her utnyttes overstrømming av tillufta fra mer forurensende til mindre forurensende soner, noe som reduserer energibehovet til vifter i ventilasjonssystemet. Overstrømningen legges hovedsakelig fra kontorer til landskap, og deretter til sekundære funksjoner. Soner med overstrømning av tillufta benytter konstante luftmengder (CAV), mens resten er behovsstyrt (VAV). Ventilasjonsaggregatet er videre designet med fokus på lave trykktap i komponenter, høy varmegjenvinning av energien i avtrekkslufta og benyttelse av et kombibatteri til kjøling av lufta om sommeren og oppvarming om vinteren. For å oppnå ønsket temperatur kan også vinduer åpnes langs hele fasaden ved luftevinduer.

Ventilasjonsaggregatet utstyres med bypass-funksjon slik at avtrekkslufta har mulighet for å passere varmegjenvinneren om sommeren. På grunn av at IDA-ICE ikke støtter fortreningsventilasjon for sonekonfigurasjonen, benyttes omrøringsventilasjon for modellen. For ventilasjonen er det antatt en driftstid på 12 timer, noe som betyr at den er slått av om natten. For å oppnå tilfredstillende inn klima når arbeidsdagen begynner, må anlegget da slås på før brukerne kan benytte bygningen. Dette gjør at utslipp fra materialer og andre eventuelle forurensningskilder er fjernet når brukerne av bygget ankommer. Tabell 3-16 nedenfor viser gjennomsnittlige nøkkeldata for ventilasjon og internlaster i de 2 bygningene.

Oversikt ventilasjon og internlaster	Verdier	Krav passivhusstandard/ tek10	Kommentar
Roterende varmegjenvinner	87% virkningsgrad	80% virkningsgrad	
SFP-faktor	0,7 kW/(m ³ /s)	1,5 kW/(m ³ /s)	
Luftmengder utenom driftstid, CAV	0 m ³ /m ² h	0,7 m ³ /m ² h tomme rom	Ventilasjonen ved CAV startes 1 time før.
Luftmengder driftstid, CAV	7,9 m ³ /m ² h	2,5 m ³ /m ² h + 26	
Minimale luftmengder, VAV	1 m ³ /m ² h	m ³ /h*person	
Maksimale luftmengde, VAV	7,9 m ³ /m ² h	i drift	
Settpunkt ventilasjonskjøling	25 °C		
Driftstid ventilasjon CAV	0600 – 1730		
Driftstid ventilasjon VAV	24h		
Effektbehov belysning	3 W/m ²	5 W/m ²	
Internlast belysning	3 W/m ²	5 W/m ²	
Effektbehovt teknisk utstyr	4,5 W/m ²	6 W/m ²	
Internlast teknisk utstyr	4,5 W/m ²	6 W/m ²	
Gjennomsnittlig personbelastning	5 W/m ² (0,05 person/m ²)	4 W/m ²	

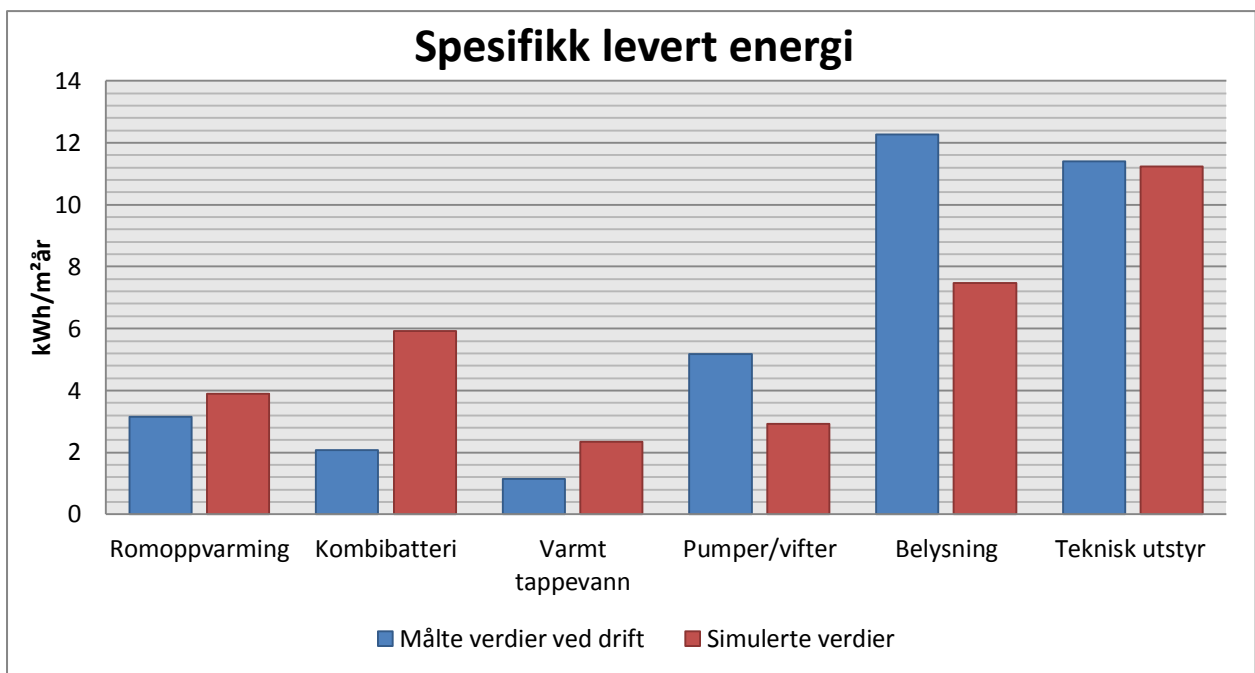
Tabell 3-16 Inndata ventilasjon og internlaster Powerhouse Kjørbo

Siden arbeidsplasser er plassert nær fasadene, er tilgangen på lys god. Dette reduserer behovet for belysning, og bidrar samtidig til gode lysforhold. Energibehovet for belysning reduseres også ved benyttelse av LED armaturer med lavt energibruk, samt fleksibel tilstedeværelsessensorer (Jenssen, 2013). Passivhusstandarden krever at 60% av installert effekt til belysning skal være underlagt dynamisk dagslys- og konstantlysstyring, med minst en styringsone per rom. Driftstiden for belysning og teknisk utstyr er satt til henholdsvis 10 og 10,5 timer, mens brukerbelastning og varmtvannsbruk er halvert i juli måned grunnet ferieavvikling.

3.5.3 Energi- og klimasimulering i IDA-ICE

Soneinndelingen i IDA-ICE er stort sett basert på å samle soner med like egenskaper. For Powerhouse Kjørbo er dette basert på likheter i solforhold, ventilasjon og bruk.

Der ikke annet er oppgitt, er modellen i IDA-ICE basert på prosjekterte verdier for bygningene. For å få et sammenligningsgrunnlag mellom virkelig energibehov og simuleringer basert på prosjekterte verdier, har Skanska Teknikk bidratt med målte verdier knyttet til energibehovet for de 2 bygningene for perioden april 2014 til mars 2015 (Jenssen, 2015). Figur 3-35 tar for seg denne sammenligningen mellom målte og simulerte verdier i form av spesifikk levert energi.



Figur 3-35 Spesifikk levert energi for modellen og målte verdier Powerhouse Kjørbo

I tillegg til teknisk utstyr har bygningene et serverrom med spesifikk energibehov på 20 kWh/m²år, i tillegg til et kjølebehov på 2 kWh/m²år som ikke er tatt med i beregningene. Målinger for produsert energi for solcellepanelene er ikke tatt med, men er representert i tabell 3-15. Resultater fra simuleringen i IDA-ICE viser at energibehovet for flere kategorier er ulik de målte verdiene. Både energibehovet til romoppvarming, kombibatteriet og oppvarming av varmt tappevann er høyere enn målte verdier for 2014/2015. På motsatt side er energibehovet til pumper og vifter knyttet til ventilasjonssystemet samt belysning lavere enn målte verdier. Dette kan skyldes flere faktorer som ulikheter i bruksmønster, uoverensstemmelser med prosjekterte verdier eller faktorer som skyldes for lavt detaljnivå for simuleringen. Spesielt viktig er faktorer knyttet til bruksmønsteret. I simuleringen avhenger både romoppvarming og oppvarming/kjøling av ventilasjonslufta i stor grad av valgte verdier

for settpunkt og driftstid. I modellen er utekompensering av settpunktet for tilluft i ventilasjonssystemet valgt.

Netto spesifikk levert energi ekskludert serverrom for de 2 bygningene og mellomliggende trappehus er simulert til 33,8kWh/m²år mens tilsvarende målte verdier resulterer i 35,0 kWh/m²år. Fra tabell 3-15 er total energiproduksjonen fra solcellepaneler målt til 133567 kWh/år, tilsvarende 25,8 kWh/m²år .

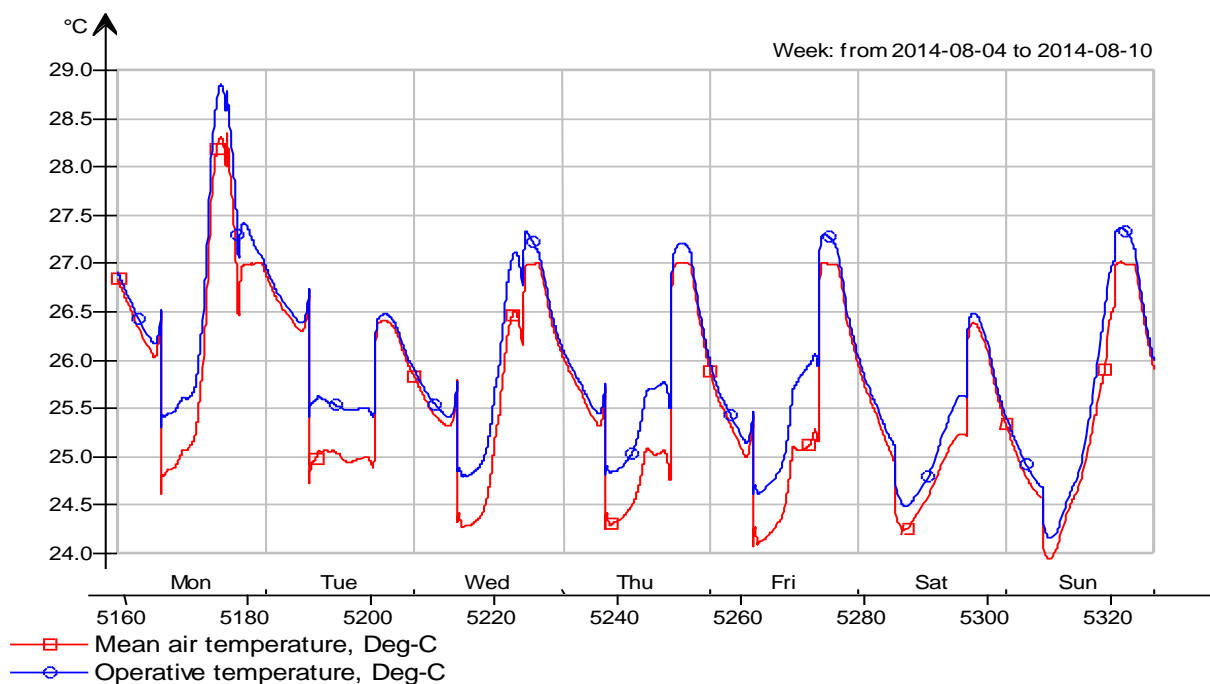
Før modellen endres, analyseres det termiske inneklima for dimensjonerende sommer- og vintertid med valgte parametere og løsninger.

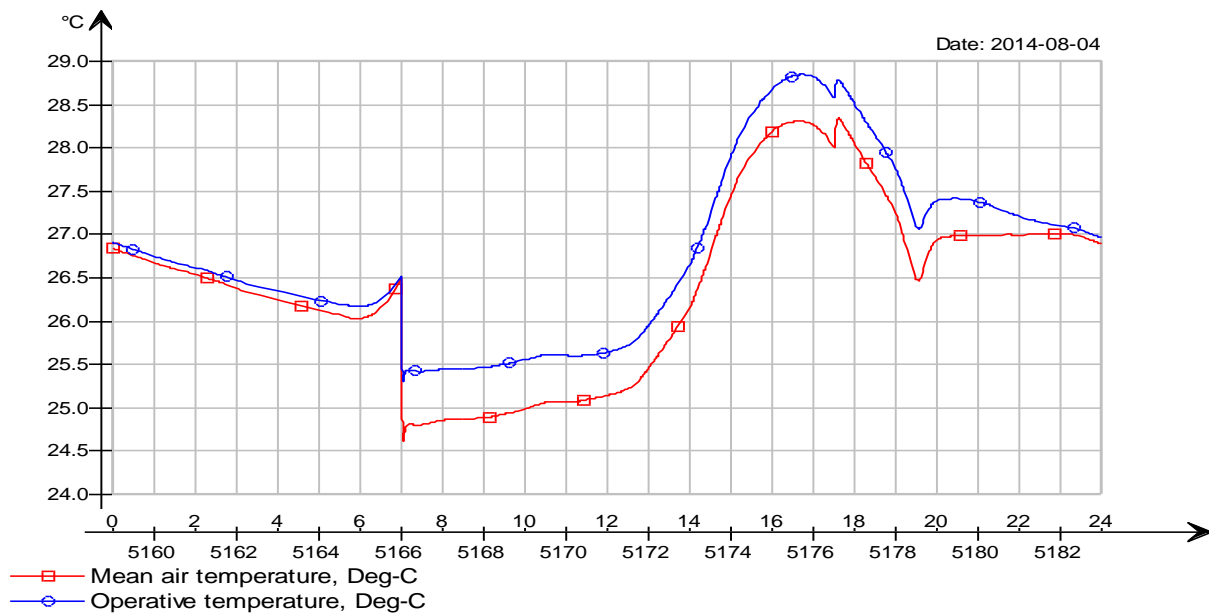
3.5.4 Analyse av termisk inneklima Powerhouse Kjørbo

I analysen av termisk inneklima er kontor og landskap i 1 etasje bygning 4 valgt. Dette skyldes hovedsakelig at sonene har stor solinnstråling og at mulige problemer med kjøling kan oppstå her.

Kontor 1. etasje bygning 4:

Vedlegg E viser temperaturen i kontor for dimensjonerende vinterforhold gjennom dagen. Figuren viser at sonen ikke har problemer med oppvarming, og vil ikke analyseres videre. Figur 3-36 nedenfor viser temperaturprofilen på ukes- og dagsbasis for dimensjonerende sommerforhold.





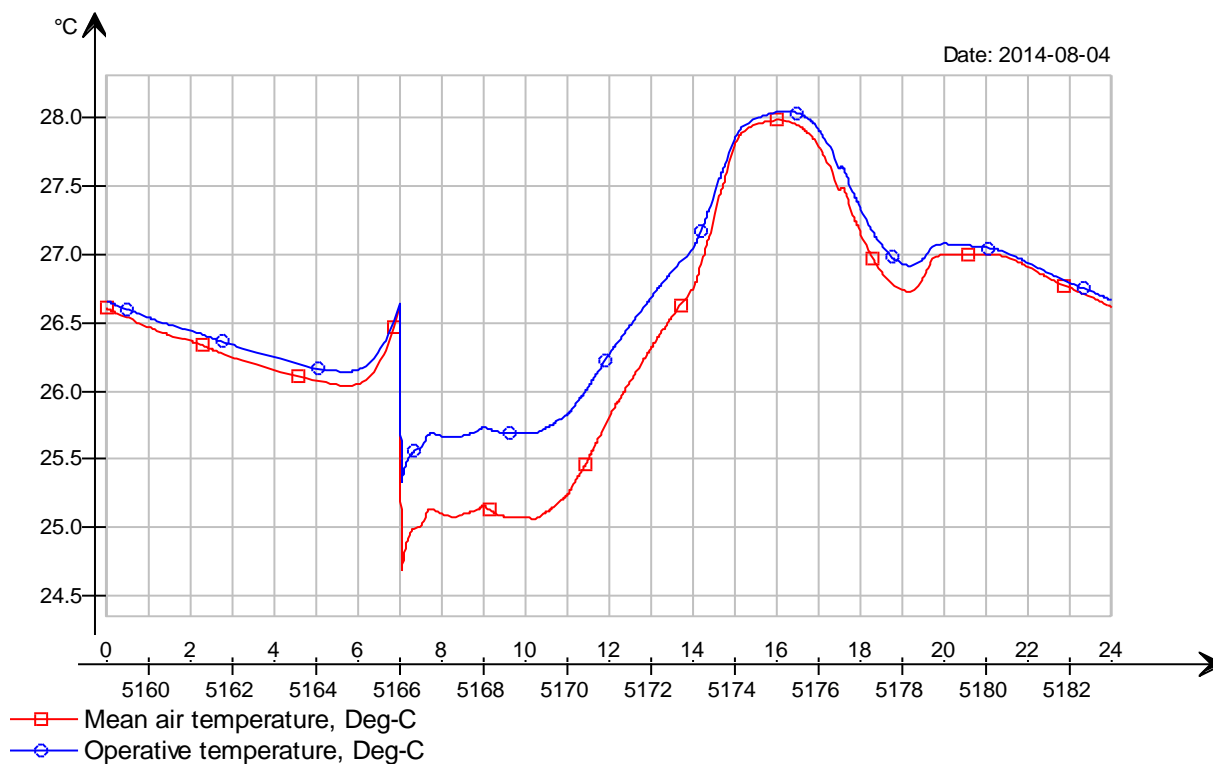
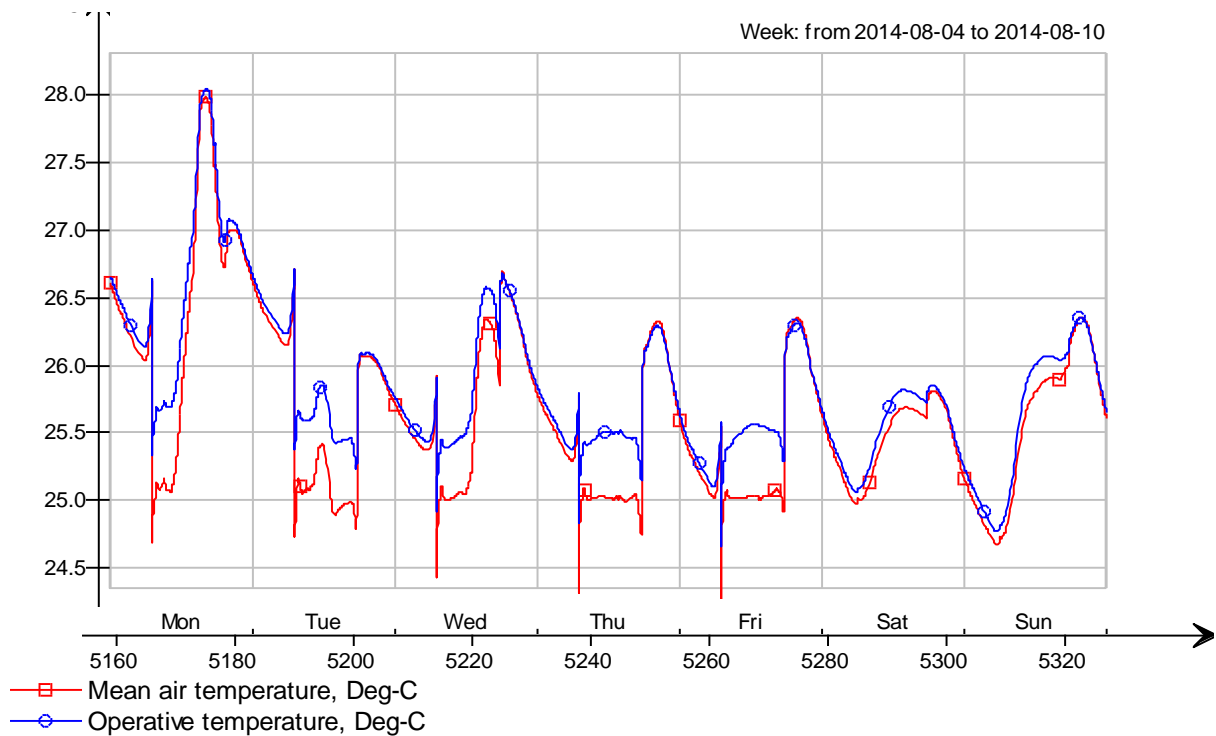
Figur 3-36 Temperaturfordeling i kontor på ukbasis (øverst) og dagsbasis (nederst) for dimensjonerende sommerforhold Powerhouse Kjørbo

Kontoret har spesielt problemer med overopphetning mandag 4/8 fra klokken 13 og ut arbeidsdagen. Vedlegg E viser energibalansen gjennom dagen, og viser at dette hovedsakelig skyldes et overskudd av varme fra vinduer i form av solinnstråling, samtidig som ventilasjonslufta og luftervinduer ikke greier å senke temperaturen tilstrekkelig. I tillegg vises innvirkningen av den termiske massen i sonen (representert grønn). Figuren viser at temperaturen senkes betraktelig ved settpunktet for kjøling som starter kl 0700. For å hindre overopphetning kunne denne vært satt tidligere på dagen. I tillegg kunne minimumstemperaturen vært satt lavere for å øke kjølingen. Modellen er satt til å styre tilluftstemperaturen etter utetemperaturen. Resultater fra simuleringen viser imidlertid at denne er noe høy og ligger på 18-20°C gjennom dagen. Temperaturen kunne vært redusert noe for den varmeste perioden før å øke kjøleevnen. Jeg er usikker på hvorfor modellen fungerte slik og ikke fulgte temperaturkurven.

Landskap 1. etasje bygning 4:

I motsetning til kontoret, har landskapet kun avtrekk av ventilasjonslufta. Figur 3-37 viser

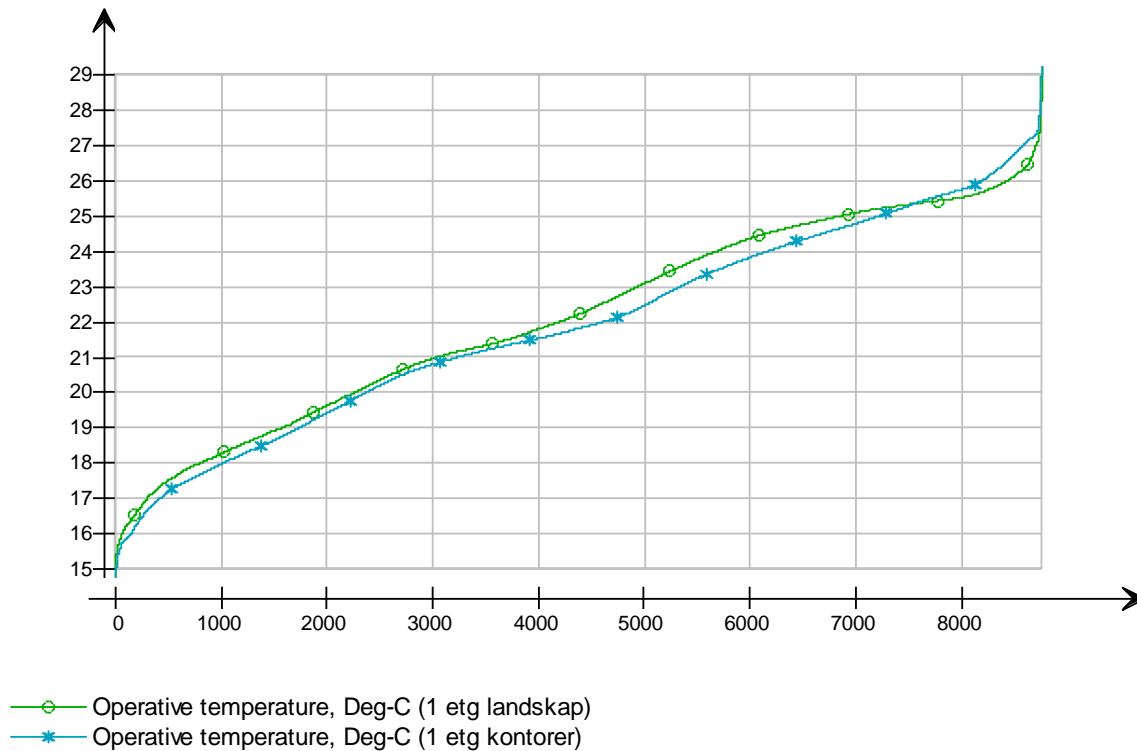
simulerte verdier for det termiske inneklimate for den varmeste sommerperioden.



Figur 3-37 Temperaturfordeling i landskap på ukesbasis (øverst) og dagsbasis (nederst) for dimensjonerende sommerforhold Powerhouse Kjørbo

Figuren viser at overopphetningen er enda større enn for kontoret. Fra klokken 1100 stiger temperaturen jevnt fra 26°C til 28°C. Dette skyldes hovedsakelig mangel på kjøling fra

ventilasjonslufta fra soner med tilluft. Vedlegg E viser luftgjennomtrengningen gjennom innvendige vegger og lekkasjer til sonen for dagen. Denne er høyest utenom driftstid da dører holdes åpne, og er relativt lav for driftstiden. Her er det lagt inn lekkasjepunkter fra soner med tilluft som skal representere overstrømningen. Nedenfor vises varighet for operativ innetemperatur for landskap og kontor gjennom året.

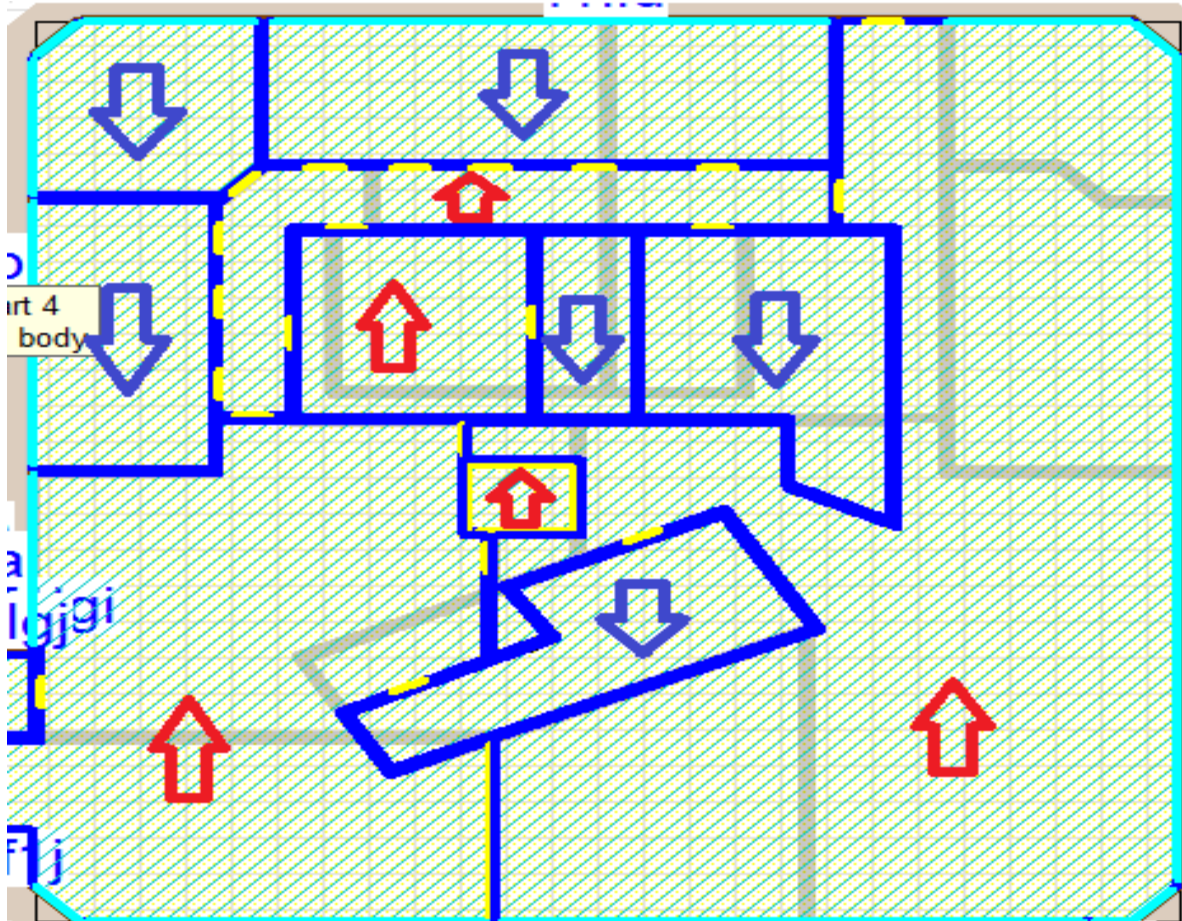


Figuren viser at innetemperaturen både for kontoret og landskap holder seg innenfor settpunktene for mesteparten av året. Perioden med temperaturer under 20 °C skyldes nattsinking av temperaturen utenfor driftstid. Begge soner har problemer med overopphetning for sommerperioden da temperaturen stiger over 25°C. Figuren representerer imidlertid også timer utenfor driftstid, for eksempel i helger der bygningen ikke brukes. Til tross for høyere tilluft i kontoret blir temperaturen høyere for deler av året sammenlignet med landskap. Som tidligere vist skyldes dette hovedsakelig varmetilskudd fra solen. I tillegg er landskapet større i areal, som gjør at varmen fordeles jevnt i sonen.

Videre analyse av bygningene fokuseres nå rundt ventilasjonsprinsippet med overstrømning av lufta fra soner med høy belastning til soner med mindre belastning. Som nevnt tidligere omfatter dette hovedsakelig at soner som kontor har tilluft med konstante luftmengder men ingen avtrekk. Lufta transporteres da via åpninger og ventiler til soner som landskap og WC hvor luften så trekkes ut. Dette sparer energi i form av reduserte luftmengder for

ventilasjonsaggregatet totalt sett. Effekten av dette ventilasjonsprinsippet skal analyseres og sammenlignes med konvensjonelle teknikker.

Standardmodellen er basert på en inndeling i soner og ventilasjon som vist i figur 3-38 nedenfor. Skjermumpen fra modellen i IDA-ICE viser plan 3 for bygning 5, blå piler representerer soner med tilluft mens røde piler representerer soner med avtrekk. Luft transporteres altså fra soner med blå pil til soner med rød pil.

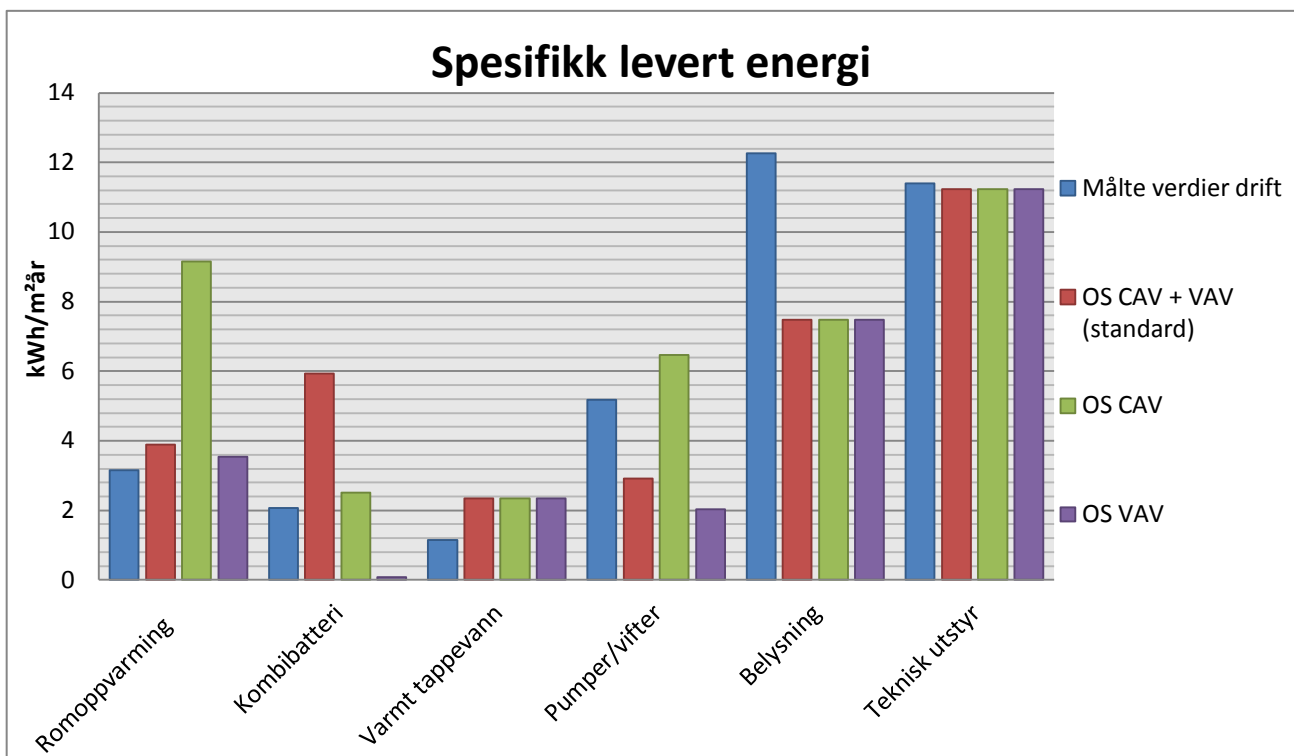


Figur 3-38 Skjermump av soneinndeling med inndeling av ventilasjonsprinsipp Powerhouse Kjørbo

Modellen endres nå ved å se på tradisjonelle ventilasjonsprinsipper for bygningen, for så å se innvirkningen av denne endringen.

3.5.4.1 Simulering 2 og 3 – Ventilasjon basert på overstrømning ved CAV og VAV

Simulering 2 baserer seg på å utelukkende benytte konstante luftmengder (CAV), mens simulering 3 benytter variable luftmengder (VAV) for alle soner. Samtidig benyttes overstrømning fra kontor til landskap med samme inndeling som for standardmodellen. Simulerte verdier for levert spesifikk energibruk for de ulike simuleringene med parametere gitt i delkapittel 3.5.1 og 3.5.2 er vist nedenfor, og sammenlignet med målte verdier (Jensen, 2015).



Figur 3-39 Spesifikk levert energi for overstrømning ved CAV og VAV Powerhouse Kjørbo

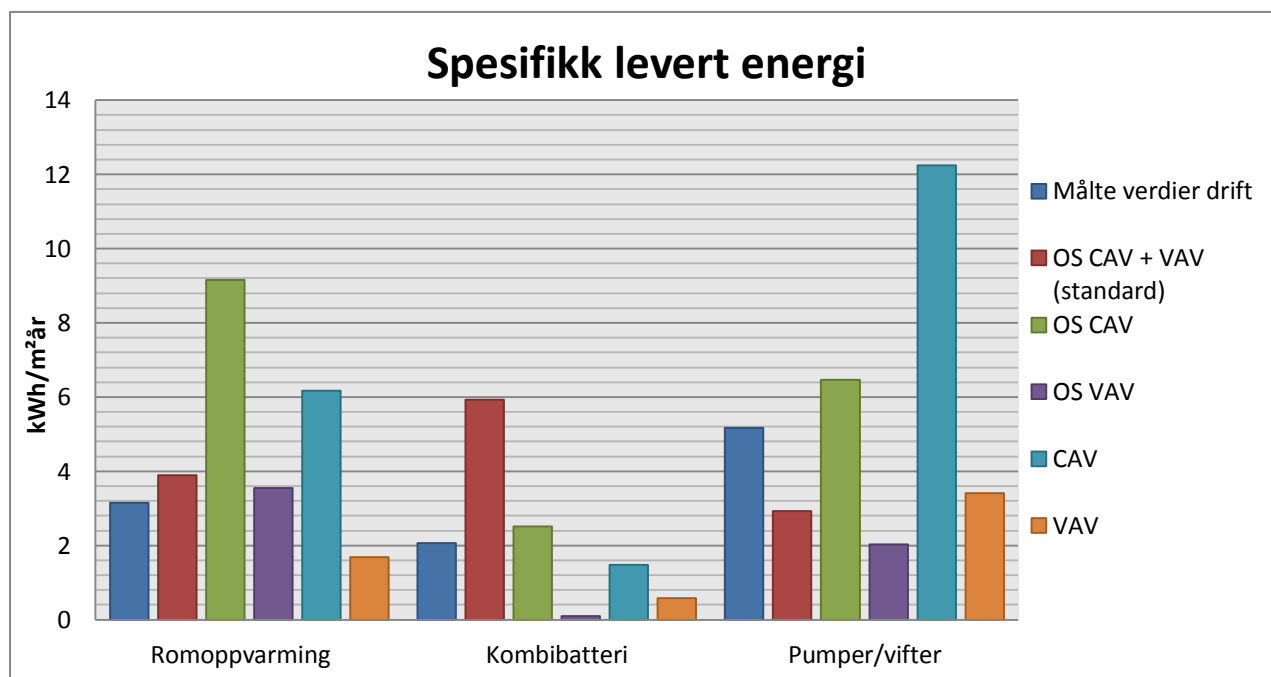
Energibehovet til vifter i ventilasjonssystemet øker når mere luft transporteres i sonene. Dette gjør at energibruk til vifter øker for systemene med CAV. For systemene med VAV styres luftmengdene mellom maks-og minimumsverdier i henhold til sensorer for temperatur og CO₂ i sonene, samt definerte verdier for drift. Vedlegg E viser at resulterende luftmengder ved VAV er lavere enn luftmengder definert for CAV, noe som resulterer i et lavere energibehov til vifter ved VAV. Usikkerheter er her knyttet til utslipp og konsentrasjon av CO₂ i soner, noe som øker usikkerheten rundt nøyaktigheten til luftmengder basert på CO₂ for VAV systemet. Maksimale verdier for luftmengder ved VAV oppnås kun om sommeren, da temperaturen overstiger settpunktet for kjøling. Spørsmålet vil da være om systemet kvitter seg tilstrekkelig med forurensninger, og opprettholder et godt inn klima.

Vedlegg E viser at luftmengder for tilluft for standardmodellen med både CAV og VAV er høyere enn avtrekk for store perioder av året. Dette gjør at tillufta ikke varmes opp tiltrekkelig via varmegjenvinneren, og mye energi går tapt. Dette vises fra resultatene i figur 3-39, ved at energibehovet til kombibatteriet er høyere for standardmodellen sammenlignet med simulering 2 og 3. For å motvirke dette, kunne soner med kun avtrekk hatt en viss grunnluftmengde for tilluft. Vedlegg E viser denne sammenhengen mellom energibehovet til oppvarming av tillufta og utnyttet energi fra varmegjenvinneren. For systemet med VAV er energibehovet til kombibatteriet svært lavt, og skyldes lave luftmengder. Her varmes tillufta opp så og si utelukkende av varmegjenvinneren.

For systemet med CAV er energibehovet til romoppvarmingen større enn for VAV og for standardmodellen med kombinert system. Dette skyldes høyere luftmengder for tilluft med lavere temperatur enn romtemperaturen, noe som kjøler ned sonene. Denne effekten oppstår i størst grad i de soner med tilluft.

3.5.4.2 Simulering 3 og 4 – CAV og VAV uten overstrømning

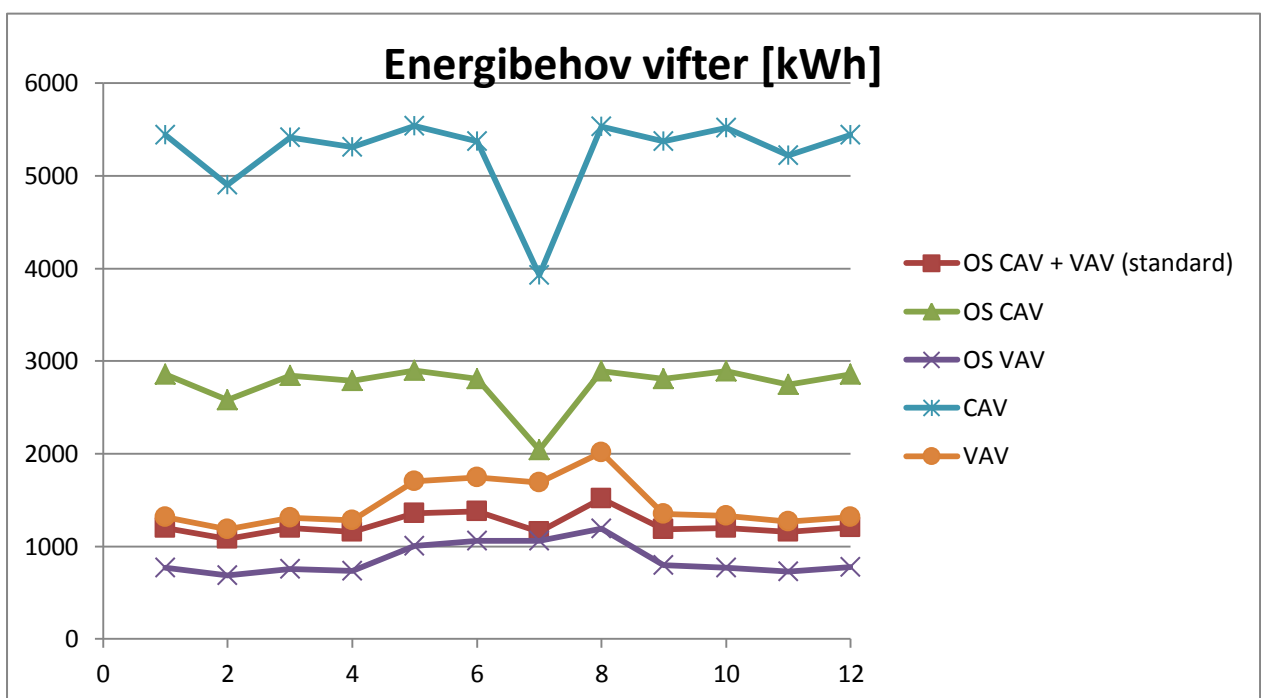
Modellen endres nå ved å se på ventilasjonsprinsipp uten overstrømning basert på CAV i simulering 3 og VAV i simulering 4 for alle soner. Sammenligning av energibehovet for romoppvarming, kombibatteri, samt pumper og vifter er sammenlignet i figur 3-40 nedenfor.



Figur 3-40 Spesifikk levert energi for modeller basert på CAV og VAV uten overstrømning

Her er energibehovet til utstyr, belysning og varmtvann ekskludert siden disse ikke påvirkes av endringene på modellen i simuleringene.

Sammenlignes modellen for CAV med og uten overstrømning, viser resultatene en betydelig økning i energibehovet til vifter i ventilasjonssystemet ved å endre modellen. Dette skyldes økningen i luftmengder for de soner som tidligere benyttet avtrekk ved VAV. Av samme årsak er økningen ved å gå fra VAV med og uten overstrømning mindre enn for systemet med CAV. Energibehovet til vifter i ventilasjonssystemet for de ulike modellene i simulering 1-5 er representert i figur 3-41 nedenfor, og vises på månedsbasis. Reduksjon for juli måned skyldes antagelse om redusert personbelastning tilknyttet ferieavvikling.



Figur 3-41 Energibehovet til vifter i ventilasjonssystemet for ulike modeller Powerhouse Kjørbo

For energibehovet til varmebatteriet er endringen ved å skifte system relativt liten.

Energibehovet til kjøling av ventilasjonslufta står i tillegg for relativt små endringer mellom modellene og er ikke analysert nærmere enn i vedlegg E. Energibehovet her er direkte knyttet til størrelsen på lufta som transporteres, og vil derfor på grunn av tidligere påstander være størst for systemene med CAV.

Energibehovet til romoppvarming blir påvirket ved overstrømning ved en større transport av luft fra soner med tilluft til soner med avtrekk. Dette gjør at disse sonene krever mere oppvarming. Et eksempel på dette er vist i vedlegg E, der varmebalansen i løpet av

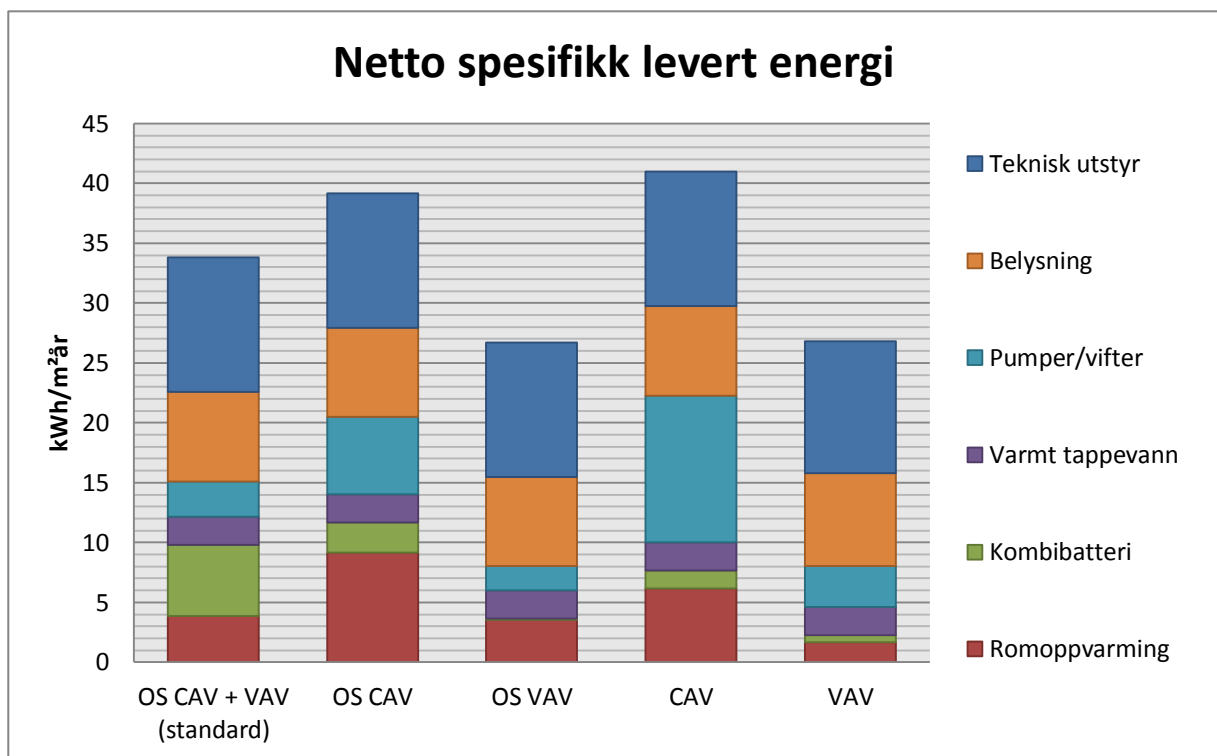
oppvarming for kontor og landskap i 1. etasje blokk 4 er representert.

Simuleringene har vist at endringene i ventilasjonssystemet har påvirket energibehovet til både romoppvarming, kombibatteri og vifter i ventilasjonssystemet. Hovedsakelig påvirker endringer i ventilasjonsprinsippet hvor mye luft som transporteres, og dermed energibehovet til vifter. Som en effekt av dette endres også forutsetningene for oppvarming i sonene samt oppvarming og kjøling av ventilasjonslufta. Selv om reduserte luftmengder resulterer i lavere energibehov, må dette sammenlignes med behov og krav til inneklimate. Hovedoppgaven til ventilasjonssystemet er å kvitte seg med forurensninger og til å opprettholde god luftkvalitet. Dermed må ikke ventilasjonsanlegget dimensjoneres med for lave verdier. IDA-ICE har innebygd funksjonalitet for utregning av komfort basert på inneklimate, der noen av parameterne for de ulike løsningene gjengis i tabell 3-17. Figur x viser samlet netto spesifikk levert energi for de ulike systemene.

Building Comfort Reference

	OS CAV + VAV	OS CAV	OS VAV	CAV	VAV
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	2 %	1 %	11 %	1 %	1 %
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	0 %	0 %	1 %	0 %	0 %
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	8 %	9 %	11 %	9 %	11 %

Tabell 3-17 Bygningskomfort basert på temperatur i soner Powerhouse Kjørbo



Figur 3-42 Netto spesifikk levert energi for ulike modeller Powerhouse Kjørbo

Tabell 3-17 viser at antall timer med operativ temperatur over 27°C i den verste sonen for overstrømming og VAV tilsvarer 11% av året og er svært høyt. Dette skyldes utilstrekkelig kjøling fra kjølebatteriet. Missnøye med termisk inn klima svarer til temperaturer høyere enn settpunktet på 25°C og lavere enn 20°C, og er relativt likt for de ulike modellene. Timer utenfor driftstid og gjeldene settpunkt er her tatt med og tabellen er derfor litt missvisende. Forskjellen mellom de ulike modellene er uansett relevant.

Resultat for energibehovet viser som nevnt at systemene med reduserte luftmengder har lavest verdier. Disse har imidlertid også høyest problem med overopphetning for dimensjonerende sommerforhold. Ved å benytte system utelukkende med konstante luftmengder, økte energibehovet fra 3 til 12 kWh/m². Dette må anses som betydelig økning fra standardmodellen. Det totale energibehovet for alle modellene er svært lavt, og skyldes kombinasjonen av ulike løsninger innen energiforsyning, ventilasjon og bygningskropp, samtidig som energibehovet til belysning og teknisk utstyr reduseres. Målte data viste imidlertid at energibehovet til belysning var en del høyere enn prosjektert. Skanska Teknikk forventer imidlertid reduksjon i det totale energibehovet på 20% etter første driftsår som data er basert på. Dette skyldes at det trengs tid til optimalisering og innkjøring av systemene

(Jenssen, 2015).

3.6 Papirbredden II

Papirbredden II, oppført av Papirbredden Eiendom, er et nytt kontor- og flerfunksjonsbygg med beliggenhet sentralt i Drammen, og er en videreføring av konseptet for Papirbredden Kunnskapspark. Papirbredden II er prosjektert etter FutureBUILTs kvalitetskriterier med passivhus og energiklasse A, samt klimaeffektive bygningsmaterialer. Ved oppstart av prosjektet ble det satt strenge krav til kvalitet og miljø innen flere faktorer. Disse inkluderte blant annet:

- Ledelse/gjennomføring
- Bymiljø, arkitektur og økologi
- Energibruk, materialbruk og avfall
- Helse og velvære
- Transport, forurensning og vannbruk

Kravene med hensyn til disse punktene ble satt delvis av Futurebuild-krav og BREEAM-krav, samt generelle miljøtema fra byggebransjen (Rambøll, 2012).

Prosjektet i denne fasen omfatter to bygninger, hus 1 og hus 2, med felles kjeller under terreng. Byggingen av første del (hus 1) startet i 2010 og var ferdigstilt 2012. Analysen i denne oppgaven baseres kun rundt hus 1.



Figur 3-43 Papirbredden II i Drammen

Hus 1 er bygd med fellesfunksjoner som vestibyle, kantine og kjøkken for begge bygninger. Funksjonsmessig inneholder bygningen en blanding av kontor, undervisning og servering, og er fordelt på 8 etasjer. Kjellerplan er felles for både hus 1 og hus 2, og omfatter teknisk rom, parkering, sykkel-og garderobefasiliteter. Totalt oppvarmet BRA for bygningen er beregnet til 8536m² (Rambøll, 2012).

3.6.1 Bygningskonstruksjon

Bygningen er konstruert etter et enkelt prinsipp basert på betongsøyler og bjelker som bærer hulldekkelementer. For ytterkledningen var flere ulike materialer vurdert, men endte opp med å bruke granitt som hovedmaterial. Slik ble både arkitektonisk uttrykk og gode miljøhensyn sikret. Glassfelter omslutter kantine og adkomstarealer på bakkeplan og utføres som systemfasader. Dette sikrer åpne og transparente fasader. Totalt vindusareal for bygningen er beregnet til ca 20% av BRA (Rambøll, 2012). Vindtetting er nøye utført med tapede skjøter for å oppnå krav til lekkasjetall. Passivhusstandarden NS3701 ”*Kriterier for passivhus og lavenergibygg – yrkesbygninger*” er lagt til grunn for konstruksjoner og andre tekniske løsninger. Tabell 3-18 nedenfor viser byggtekniske data for hus 1.

Oversikt bygningstekniske data	Verdier	Krav passivhusstandard
U-verdi, yttervegg	0,15 W/m ² K	0,15 W/m ² K
U-verdi, tak	0,13 W/m ² K	0,13 W/m ² K
U-verdi, gulv	0,15 W/m ² K	0,15 W/m ² K
U-verdi, gulv mot kjeller	0,11 W/m ² K	0,15 W/m ² K
U-verdi, vindu	0,80 W/m ² K	0,80 W/m ² K
U-verdi, ytterdør	0,80 W/m ² K	0,80 W/m ² K
Lekkasjetall	0,60 h ⁻¹	0,60 h ⁻¹
Normalisert kuldebroverdi, ψ	0,03 W/m ² K	0,03 W/m ² K

Tabell 3-18 Inndata bygningstekniske data Papirbredden II

Siden en relativt stor andel av fasader utgjør vinduer, er det svært viktig med god solskjerming. Nødvendig solskjerming for bygningen ivaretas ved innvendige lameller. (Rambøll, 2012). Dette reduserer solinnstrålingen for sommermånedene, og er viktig for også å redusere kjølebehovet. I tillegg til solskjerming, benyttes eksponert betong i himlinger som bidrar til jevne ut temperaturendringer.

3.6.2 Energiforsyning, ventilasjon og bruk

Som hoverenergiforsyning for bygningen er det benyttet en bergvarmepumpe koblet til geo-energibrønner i samkjøring med nabobygningen Papirbredden I. Denne er dimensjonert til å dekke 90% av det totale energibehovet og 50% av effektbehovet. Topplasten for bygningen dekkes av fjernvarme, og et vannbårt oppvarmingssystem via radiatorer sørger for oppvarming av soner (Rambøll, 2012). Nøkkeltall for energiforsyning vises i tabell 3-19 nedenfor.

Oversikt energiforsyning	Verdier	Kommentar
Væske/vann bergvarmepumper som bunnlast	90%	Varmeavgivelse romoppvarming ved sentralt plasserte radiatorer.
Gjennomsnittlig COP	2,26	Tall for gjennomsnittlig COP baseres på prosjekterte verdier.
Fjernvarme som topplast	10%	Energidekningsgrad
Gjennomsnittlig COP	0,84	
Årlig spesifikt energibehov til varmtvann	5 kWh/m ² år	
Settpunkt oppvarming	20 °C	Settpunkt og driftstid er likt for alle soner. Utenom driftstid reduseres settpunktet til 15 °C for å spare energi.
Driftstid oppvarming	0600 - 1800	

Tabell 3-19 Inndata energiforsyning Papirbredden II

Bygningen har videre insallert balansert ventilasjon basert på omrøringsventilasjon og høyeffektiv roterende varmegjenvinning. Energibehov til drift er redusert gjennom behovsstyring av luftmengder (VAV), effektive vifter og lave trykktap i komponenter og rørføringer. For å oppnå et godt inn klima, er riktig dimensjonering av ventilasjonssystem særdeles viktig. Dette gjelder spesielt for tette bygninger der forurensninger i større grad “stenges inne” av bygningskroppen. For å oppnå ønsket temperatur på tillufta både om vinteren og om sommeren, benyttes et kombinert varme og kjølebatteri.

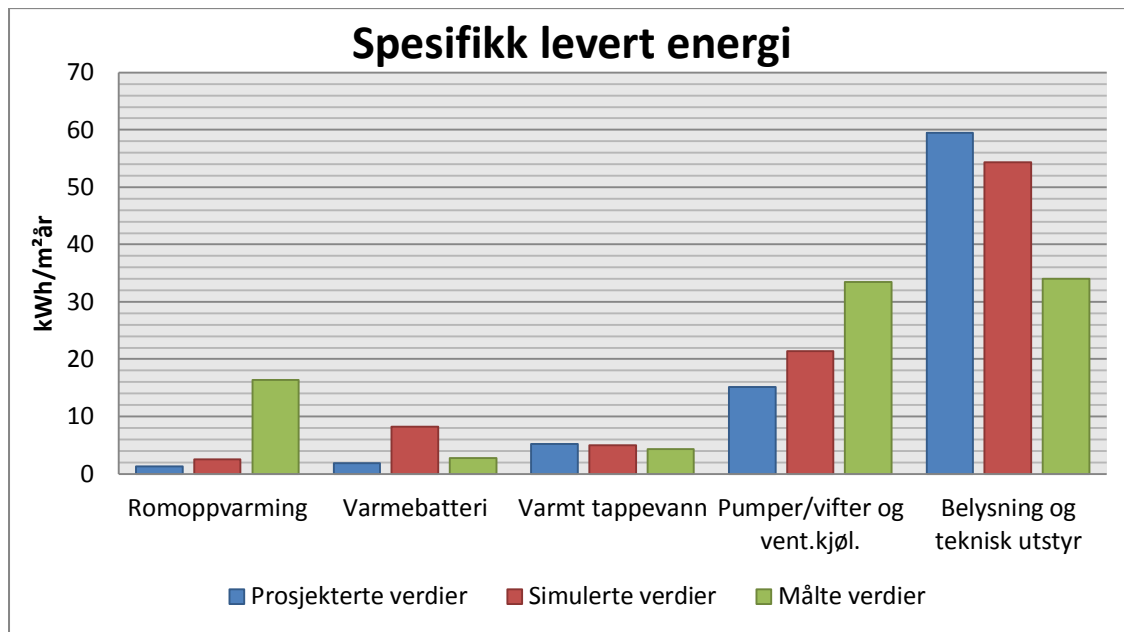
Oversikt ventilasjon og internlast	Verdier	Krav passivhus-standard/ tek10	Kommentar
Roterende varmegjenvinner	85% virkningsgrad	80% virkningsgrad	
SFP-faktor	1,5 kW/(m ³ /s)	1,5 kW/(m ³ /s)	
Maksimale luftmengder	9,8 m ³ /m ² h	0,7 m ³ /m ² h tomme rom	Ventilasjonsprinsipp basert på varierende luftmengder (VAV)
Minimale luftmengder	1,0 m ³ /m ² h	2,5 m ³ /m ² h + 26 m ³ /h*person i drift	
Settpunkt kjøling	25 °C		Gjelder for oppholdstiden.
Driftstid ventilasjon	Hele døgnet		Settpunktet for kjøling gjelder 1 time før oppholdstiden.
Effektbehov belysning	8 W/m ²	5 W/m ²	
Internlast belysning	8 W/m ²	5 W/m ²	
Effektbehovt teknisk utstyr	11 W/m ²	6 W/m ²	
Internlast teknisk utstyr	11 W/m ²	6 W/m ²	
Gjennomsnittlig personbelastning	4 W/m ² 0,04person/m ²	4W/m ²	Det er antatt at bygget brukes fra 0600-1800.

Tabell 3-20 Inndata ventilasjon og internlast Papirbredden II

I tabell 3-20 ovenfor gjengis luftmengder, SFP-faktor for ventilasjonsaggregatet, samt virkningsgrad for varmegjenvinneren. Effektbehov og internlast for belysning og teknisk utstyr er relativt høyt og vil ha stor innvirkning både på varmetilskuddet og energibehovet. Driftstid for belysning og teknisk utstyr er satt lik oppholdstiden på 12 timer.

3.6.3 Energi- og klimasimulering i IDA-ICE

Soneinndelingen i IDA-ICE er stort sett basert på sammenslåing av like soner. Siden bygget er relativt stort, var det viktig med et fornuftig antall soner for å redusere simuleringstiden. Figur 3-44 nedenfor viser spesifikk levert energi for modellen, og sammenlignes med tilgjengelige prosjekterte data. I tillegg representeres verdier for målte data under drift i 2014 (Jonsson 2015).



Figur 3-44 Spesifikk levert energi for modellen Papirbredden II

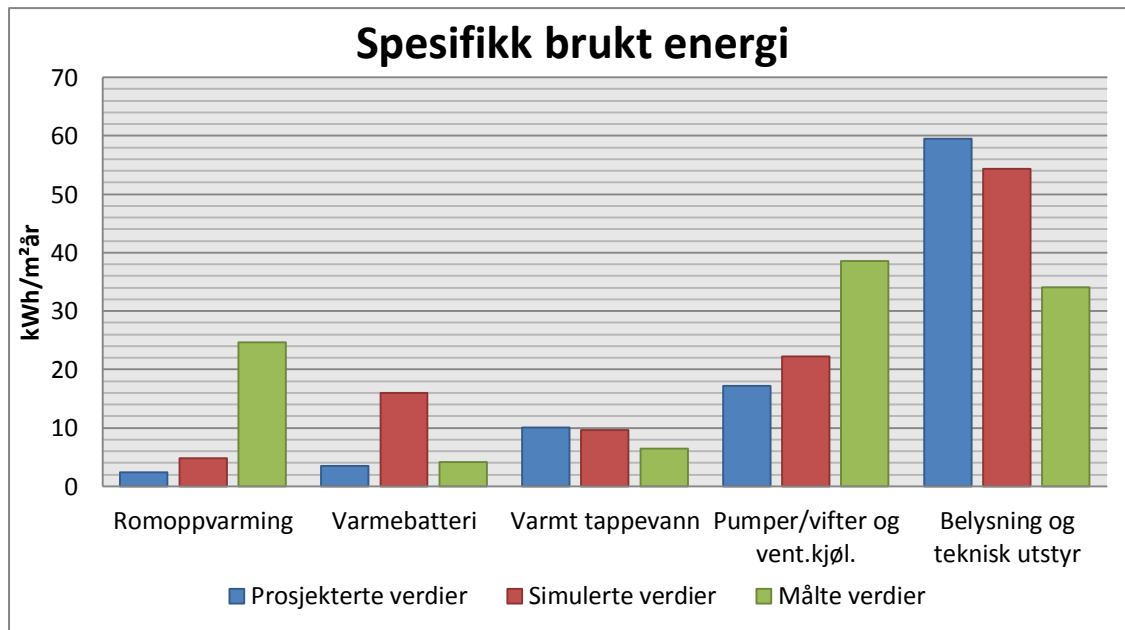
Figuren for spesifikk levert energi er litt forskjellige fra tidligere delkapittel på grunn av representasjonen av målte verdier. For driftsåret 2014 er gjennomsnittlig COP for varmpumpa utregnet til 2,7 med et energidekningsgrad på 64%. Tilsvarende verdier for 2013 resulterte i gjennomsnittlig COP på 2,8 med en dekningsgrad på 54% (Jonsson 2015). Tallene fra 2014 er medregnet og representert i figuren (målte verdier), selv om prosjekterte verdier for gjennomsnittlig COP og dekningsbidrag fra tabell 3-19 er valgt for simuleringen i IDA-ICE.

Sammenligningen av levert energi for modellen viser ulikheter både til prosjekterte og målte verdier. Effekten knyttet til belysning og teknisk utstyr ble prosjektert relativt høyt med 8 og 11 W/m² for driftstiden og utgjør dermed en stor andel av det totale energibehovet. Figuren viser at målte verdier altså er lavere enn dette. For energibehovet til romoppvarming viser målte verdier for 2014 en markant økning sammenlignet med modellen i IDA-ICE. Dette gjelder også energibehovet til vifter og ventilasjonskjøling i ventilasjonssystemet. Modellen

viser videre høyere verdier knyttet til oppvarming av ventilasjonslufta.

Siden simulerte verdier baseres på prosjekterte verdier for gjennomsnittlig COP og dekningsgrad, gir dette store utslag i levert energi sammenlignet med målte verdier.

Innvirkningen av energiforsyningen er altså svært stor. Figur 3-45 nedenfor viser derfor brukt energi for de ulike modellene.



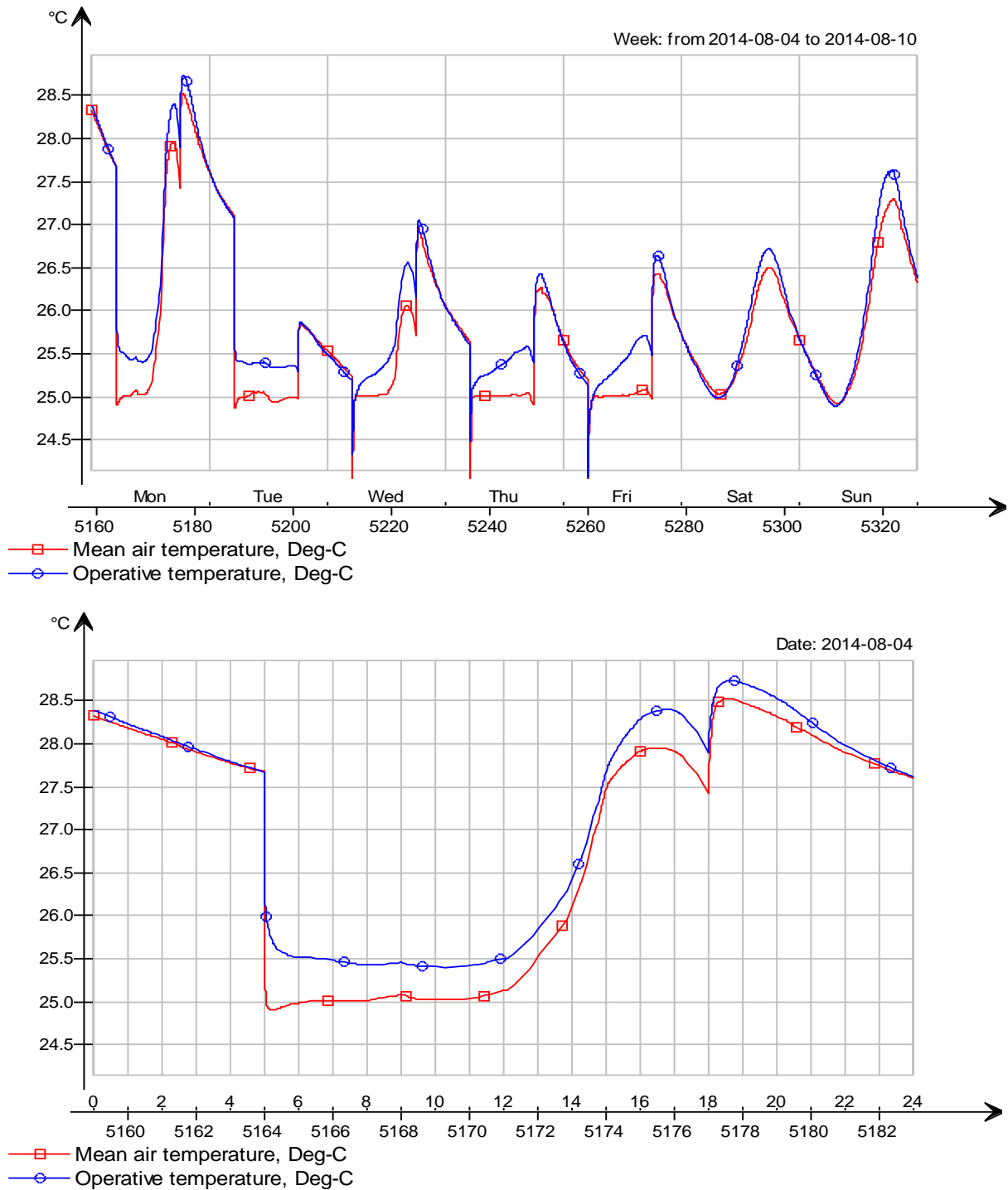
Figur 3-45 Spesifikk brukt energi Papirbredden II

Forskjellene i brukt energi for de samme kategoriene er nå større enn for levert energi. Totalt netto energibehov (brukt energi) for modellen og målte verdier er henholdsvis 106,9 og 107,7 kWh/m²år og er altså svært likt. Dette til tross for at fordelingen av energibehovet er ulikt. En termisk analyse for modellen i IDA-ICE blir nå utført for å analysere inneklimate med tanke på operativ temperatur i soner.

3.6.4 Analyse av termisk inneklimate Papirbredden II

I analysen av det termiske inneklimate er det valgt å se på sydvendt cellekontor i 4. etasje med stor andel vindusareal. Dette vil øke solinnstrålingen og bidra til oppvarming av sonen. Analysen tar bare for seg dimensjonerende forhold, altså den varmeste og kaldeste perioden i året.

Figur 3-46 nedenfor viser temperaturprofilen på ukes- og dagsbasis for dimensjonerende sommerforhold.

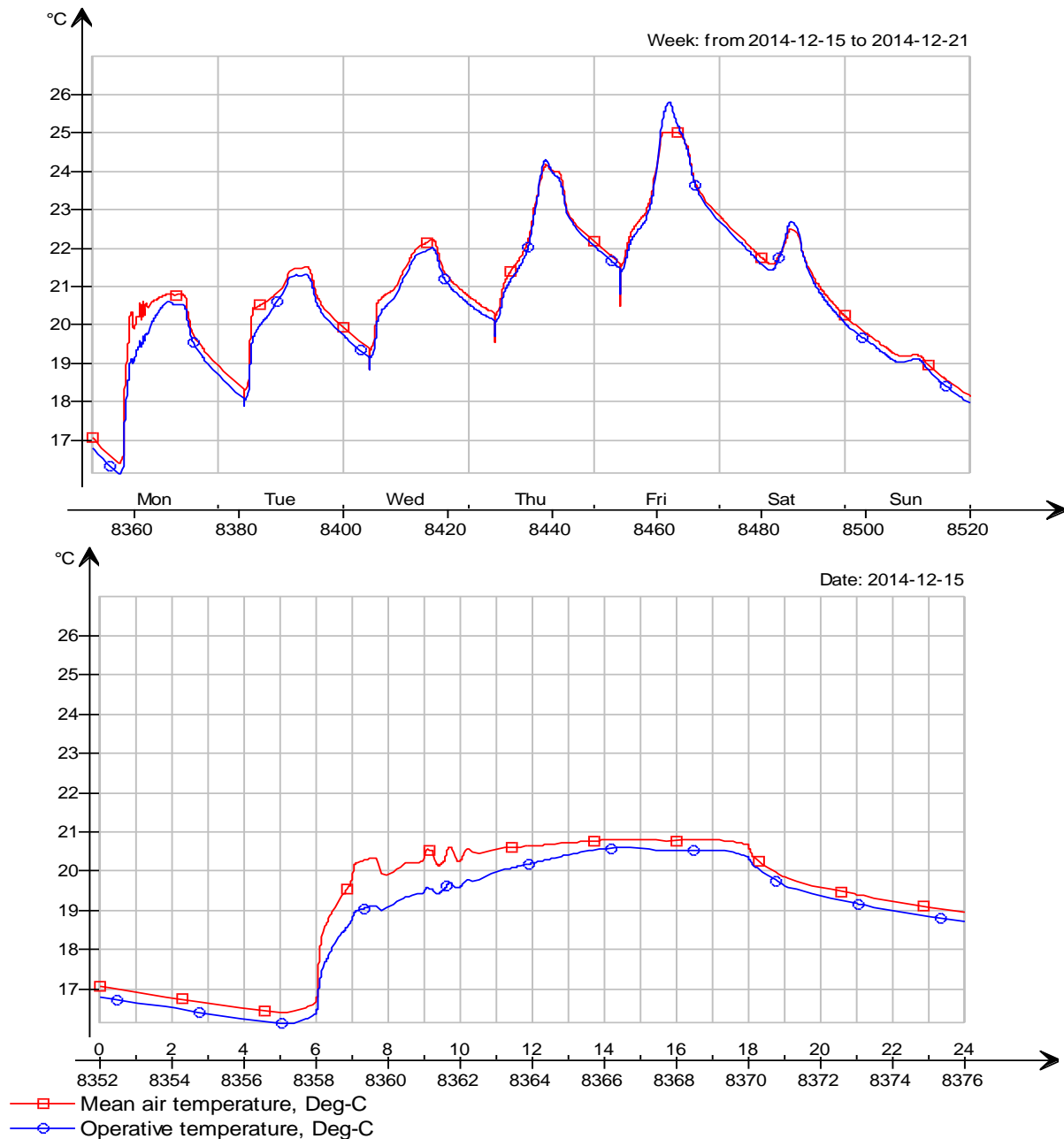


**Figur 3-46 Operativ temperatur for cellekontor ved dimensjonerende sommerforhold
Papirbredden II**

Den høye temperaturen i inngangen til mandag skyldes at maksimumstemperaturen i helgen er satt til 29°C utenfor driftstid. Denne antagelsen er gjort i modellen for å unngå unødvendig energibruk tilknyttet kjøling. Settpunktet for kjøling er imidlertid satt 1 time før bygningen åpner, slik at modellen får tid til å kjøle bygningen tilstrekkelig. Mellom kl 0500 og 1200

viser simuleringen at temperaturen holder seg rundt 25,5°C. Resten av dagen har sonen imidlertid svært høye temperaturer. Vedlegg F viser varme- og energibalanse for den samme dagen. Fra klokken 12 øker varmetilskuddet fra solinnstrålingen, som i stor grad bidrar til temperaturøkningen. Varmebalansen viser også at belysning, teknisk utstyr og personbelasning utgjør en betydelig del av varmetilskuddet. Dette skyldes de høye prosjekterte verdiene. Noe av varmen som tas opp i sonen lagres i den termiske massen som bidrar til redusere temperaturøkningen.

Tilsvarende som for den varmeste perioden, viser figur 3-47 nedenfor temperaturfordelingen for den kaldeste vinterperioden.

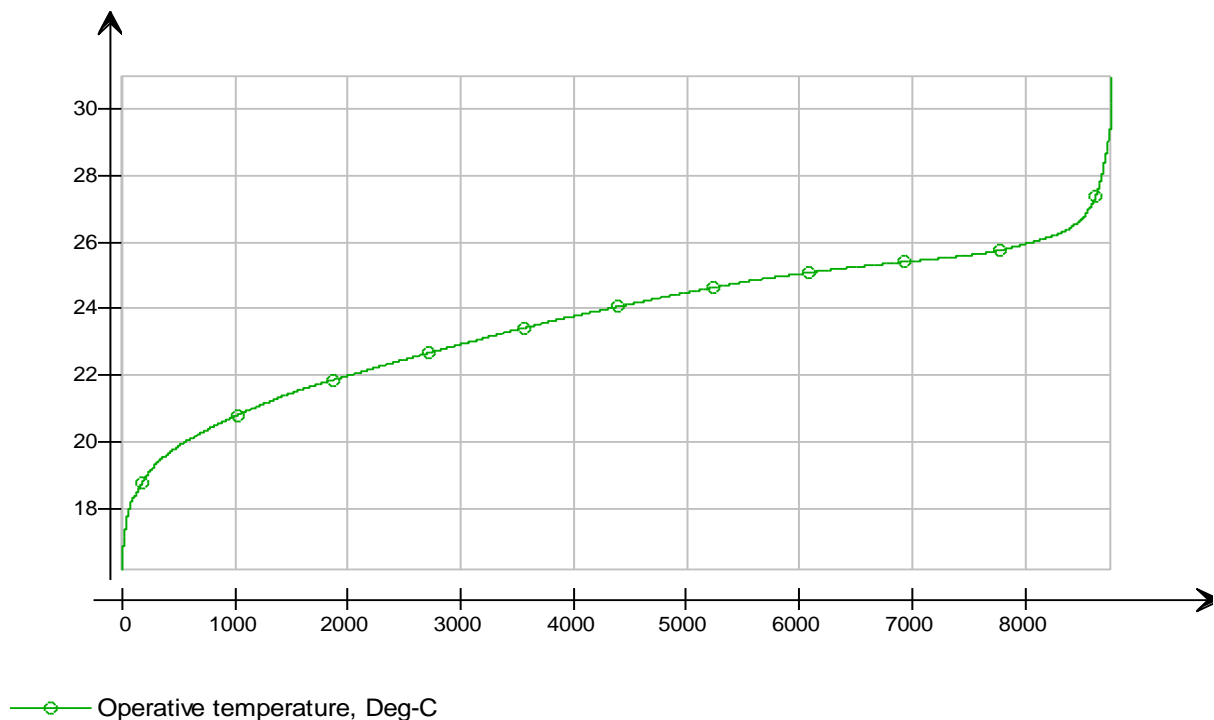


Figur 3-47 Operativ temperatur for cellekontor ved dimensjonerende vinterforhold Papirbredden II

Varmebalansen i vedlegg F viser et høyt varmetilskudd fra belysning og utstyr. Den største delen av varmetapet skyldes tap gjennom vinduer, mens en svært liten andel skyldes varmetap gjennom ytterveggen. I tillegg viser resultatene tregheten i oppvarmingen ved den termiske

massen som tar opp varme. Som et resultat, viser figur 3-47 at temperaturkravet på 20°C ikke oppnås før klokken 1100.

Figur 4-48 nedenfor viser varighet for operativ temperatur for sonen.



Figur 3-48 Varighet operativ temperatur for cellekontor Papirbredden II

Figuren viser at sonen har problemer med overopphetning for deler av året. Figuren inkluderer imidlertid også timer utenfor driftstid, da kravet er 29°C. Resultater viser at det typisk er varmt på slutten av dagen, og at temperaturen stiger når luftmengder reduseres ved stenetid. Selv om temperaturkravet er på 25°C, er det godtatt at sonen er noe varmere for 80 timer av året, ca 5% av oppholdstiden (Nilsson 2003).

Den termiske analysen har blant annet vist viktigheten av å senke varmetilskuddet fra solen i bygninger med godt klimaskall. På grunn av dette skal videre analyse fokuseres rundt solforhold, med solskjerming, og utnyttelse av termisk masse. Dette skal gjøres ved å se på innvirkningene disse har på det termiske innklimaet. Temaet er svært relevant for bygninger med lave varmetap gjennom bygningskroppen.

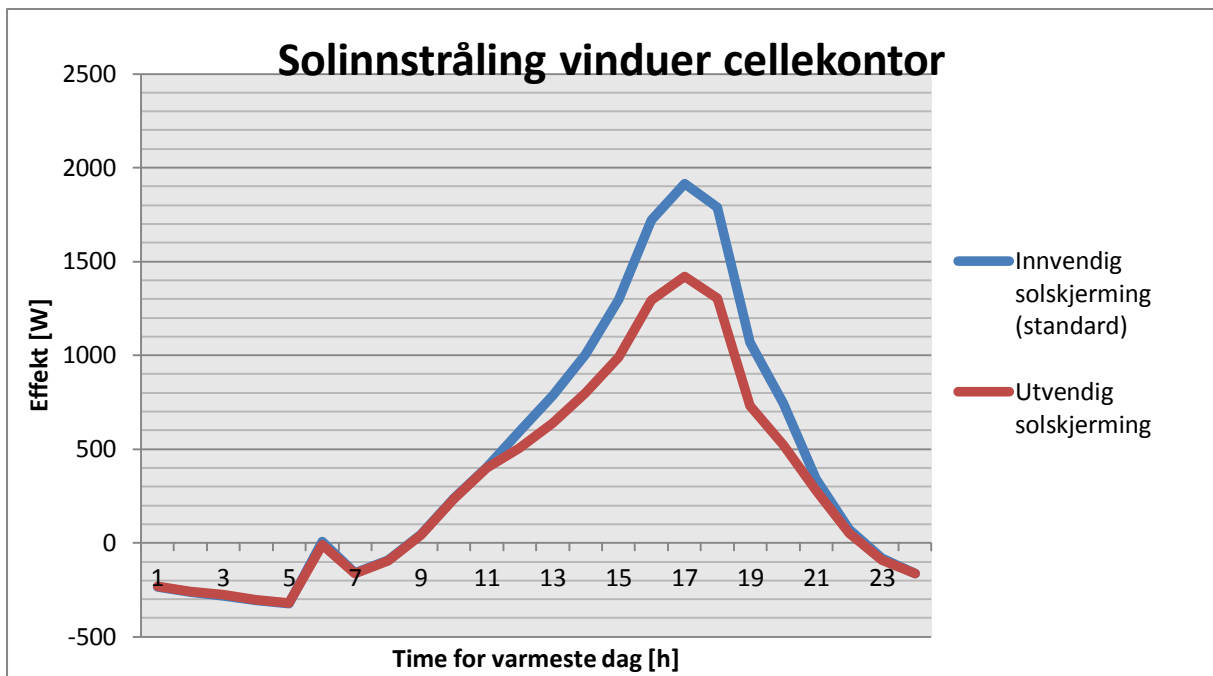
Flere ulike begrep knyttes til innvirkningen av stråling gjennom vinduer fra solen.

Solenergitransmisjonen angir hvor stor andel av solenergien som treffer utsiden av glasset som transporteres inn i rommet, som stråling gjennom vinduet, og angis som g-verdi. Denne kalles ofte solfaktor eller solar heat gain coefficient (SHGC). Solfaktoren er en kombinasjon av direkte transmisjon, refleksjon og absorpsjon (Flægstad, 2012). Total solfaktor angir

kombinasjonen av glasset og eventuell solskjerming som benyttes. I standardmodellen er alle vinduer utstyrt med innvendige lameller som bidrar til en total solfaktor på 0,127. Den totale solfaktoren angir altså andelen solenergi som slipper gjennom både solskjerming og glass. Minstekrav for solutsatte fasader er i henhold til TEK10 satt til 0,15 for bygninger med kjølebehov.

3.6.4.1 Simulering 2 -Utvendig solskjerming

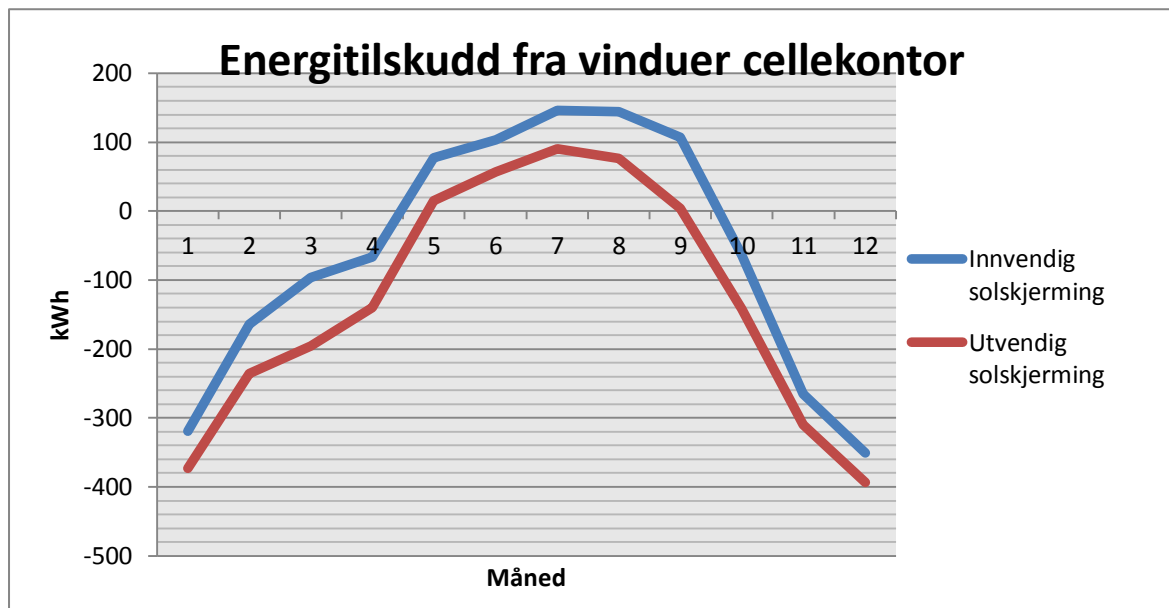
Modellen endres nå ved å innføre utvendig solskjerming med total solfaktor 0,06 på de største vinduene for solutsatte fasader. Lameller benyttes fortsatt for resterende vindu. Analysen for inneklime baseres rundt tidligere analysert sone cellekontor i 4. etasje. Figur 4-49 nedenfor viser solinnstrålingen i sonen for dimensjonerende sommerforhold for de 2 modellene.



Figur 3-49 Solinnstråling gjennom vinduer for cellekontor dimensjonerende sommerforhold Papirbredden II

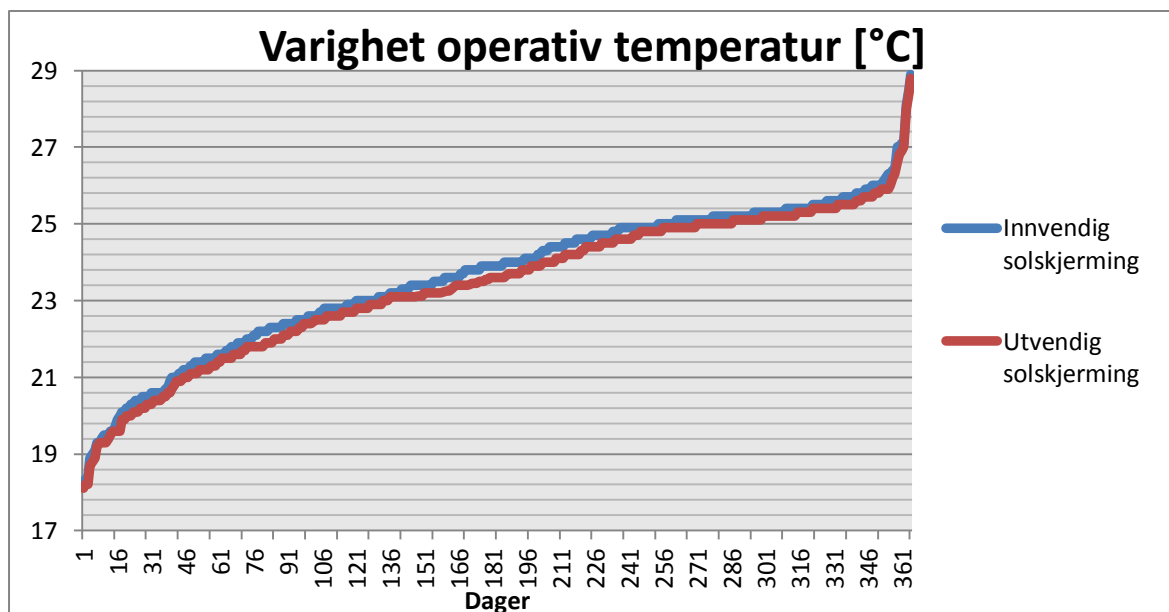
Som forventet, viser figuren at solinnstrålingen for modellen med lavere solfaktor er større. Dette tas opp i sonen og stiller større krav til kjøling. Figur 3-50 viser tilsvarende

varmetilskuddet forårsaket av solstråling gjennom vinduene i sonen gjennom året.



Figur 3-50 Energitilskudd cellekontor på årsbasis fra vinduer Papirbredden II

Varmetilskuddet reduseres ved at solinnstrålingen blokkeres på utsiden av glasset. For innvendig solskjerming reflekteres noe av solenergien, men går ikke tilbake gjennom vinduet og bidrar til å varme opp rommet. Energitilskuddet i sonen på årsbasis fra romoppvarming og tilluft er vist i vedlegg F. Dette tilsvarer altså behovet for modellen. Det totale energibehovet til romoppvarming er noe høyere, mens energibehovet for kjøling er lavere for modellen med utvendig solskjerming. Store utslag er det imidlertid ikke. Resulterende operativ temperatur for cellekontor for de to modellene vises i figur 3-51 nedenfor.

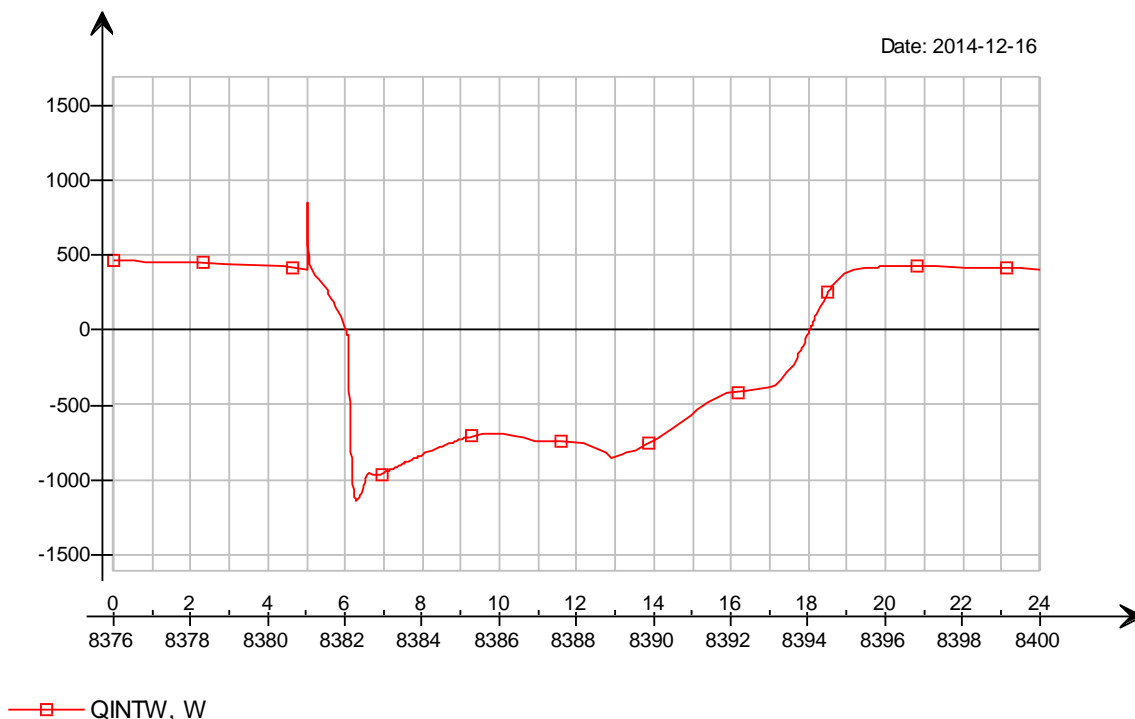


Figur 3-51 Varighet operativ temperatur for cellekontor med ulike modeller Papirbredden II

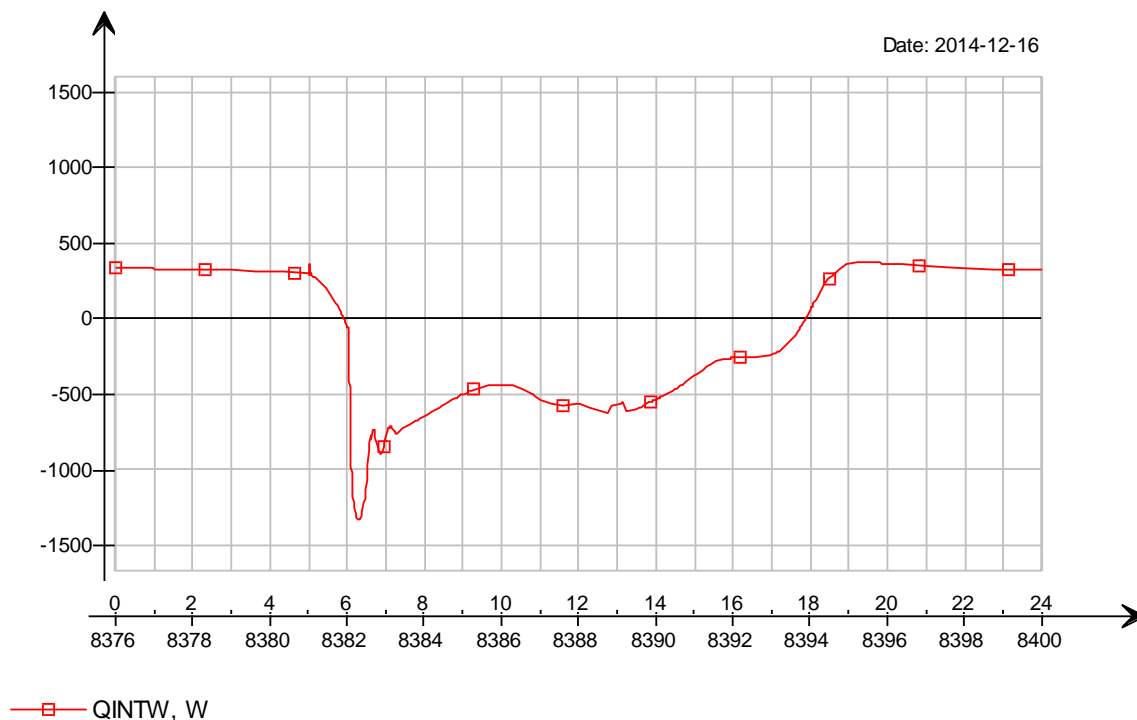
Ved å benytte utvendig solskjerming reduseres altså temperaturen noe. Sonen opplever fortsatt for høye temperaturer for deler av året.

3.6.4.2 Simulering 3 – Modell uten eksponert betong som termisk masse i himling

Modellen endres nå ved å se på innvirkningene av å fjerne eksponert betong i himlingen. Andre parametere er som definert i standardmodellen. For å sammenligne oppvarmings sesongen, er det valgt å analysere dagen etter kaldeste dag av året. Dette skyldes at kaldeste dag er en mandag, og påvirkningen av settpunkt for romtemperatur i helgen er stor. Figur 3-52 og 3-53 nedenfor viser energibalansen for sonen denne dagen knyttet til innvendige vegger og masser i sonen.



Figur 3-52 Energibalanse knyttet til vegger og masser i sonen for cellekontor, modell med eksponert betong i himling Papirbredden II



Figur 3-53 Energibalanse knyttet til vegger og masser i sonen for cellekontor, modell uten eksponert betong i himling Papirbredden II

Figuren viser at varmetilskuddet for modellen med eksponert betong i himlingen er større i absoluttverdi for hele dagen knyttet til innvendige masser. Unntaket er tidspunktet etter bygningen tas i bruk og oppvarming av sonen starter. For modellen med redusert termisk masse i sonen tas mer energi opp fortere, for så å jevne seg ut. Resultatene viser at endringer i varmetilskuddet tar lengre tid ved ekstra termisk masse. Vedlegg F sammenligner temperatur i sonen for de 2 modellene, og viser at modellen med eksponert betong i himling holder på temperaturen gjennom hele natten. Dette gjør at temperaturen ved starten av driften er høyere, og nødvendig temperaturøkning knyttet til oppvarmingen blir mindre. Siden tregheten i systemet er større, fører dette imidlertid til at oppvarmingen tar lengre tid. For sommerperioden vil reduksjon av den termiske massen bidra til å øke kjølebehovet ved at varmeopptaket i massen er mindre gjennom dagen.

4. Sammenlignende analyse

De 6 bygningene representerer ulikheter knyttet til beliggenhet, bruksområde og anvendelse av tekniske løsninger, og stiller ulike krav under drift. Felles for dem alle er et gjennomgående mål om å redusere energibehovet. Dette i form av reduksjon av varmetap gjennom bygningskroppen og energieffektive løsninger innen oppvarming og ventilasjon.

I kapittel 3 ble ulike modeller for de 6 bygningene analysert med tanke på levert energi. Ved å benytte levert energi som sammenligningsgrunnlag vil store forskjeller oppstå for ulike oppvarmingssystem. Gjennomsnittlig COP og energidekningsgrad for oppvarmingssystemet er faktorer som har stor innvirkningsgrad på levert energi. Disse er basert på best tilgjengelige data, men usikkerheter knytter seg til drift og faktiske verdier. Eventuelle avvik får derfor store konsekvenser. For å sammenligne de ulike bygningskarakteristikkene er det derfor i tillegg viktig å analysere brukt energi.

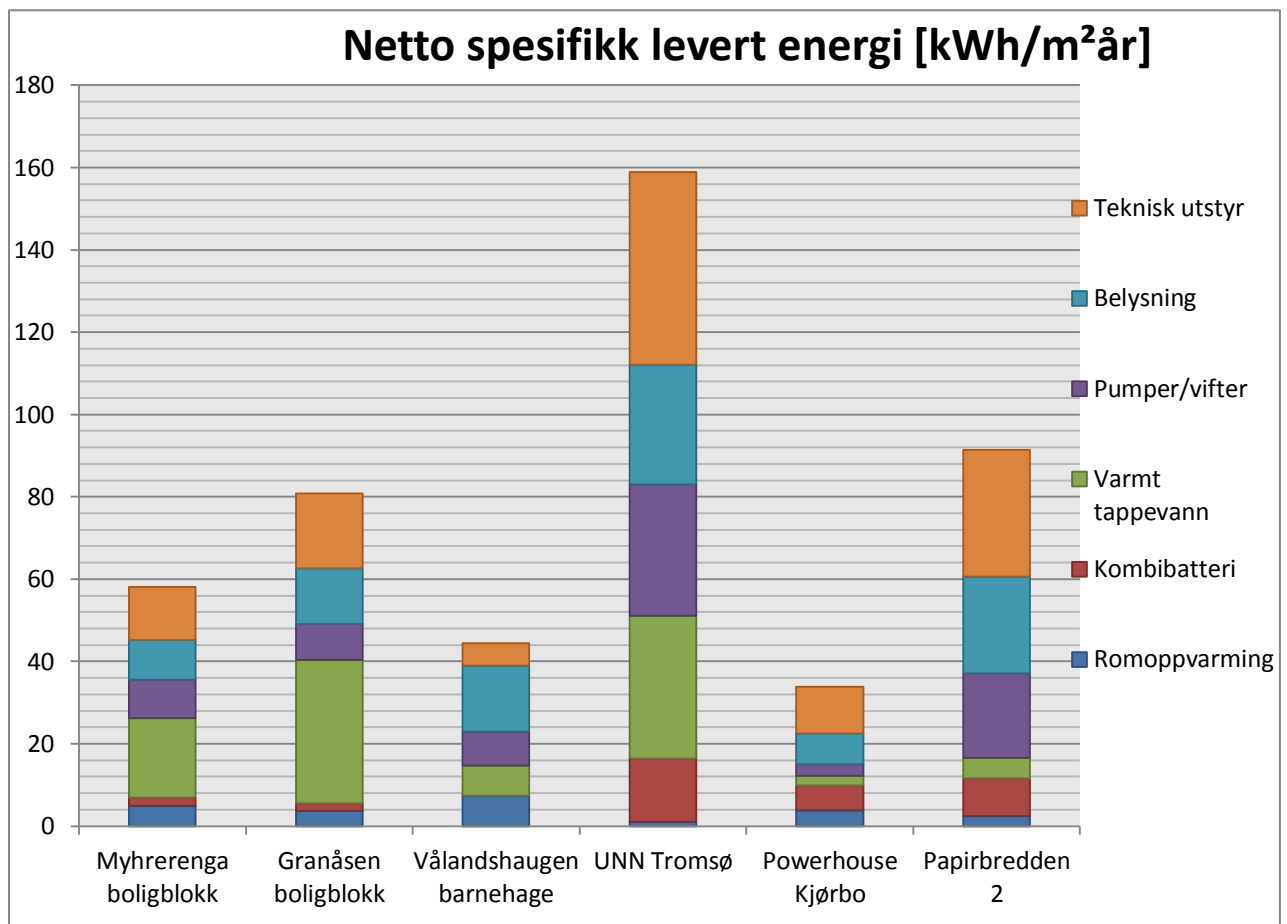
Det er flere faktorer som påvirker simuleringsresultatene for de ulike bygningene, og som påvirker energibehovet direkte. Settpunktet for oppvarming setter krav til innetemperatur for hele året, og kan defineres ulikt for dag eller natt, driftstid eller utenfor driftstid. Kravene til innetemperatur er forskjellig for ulike bygningstyper, og hvordan bygningen brukes. Lover og forskrifter inneholder ingen faste temperaturgrenser, men generelle verdier anbefales for ulik aktivitet og bruk. For bygninger der arbeiderne utøver lett fysisk innearbeid anbefaler Arbeidstilsynet for eksempel at temperaturen holdes under 22°C i perioder med oppvarmingsbehov (Arbeidstilsynet, 2015). For boliger styres dette individuelt fra hver enkelts oppfattelse av komfort. Undersøkelser gjort av statistisk sentralbyrå viser at temperaturen i boliger er forskjellige for ulike rom og ulike oppvarmingssystem som benyttes i boligen. Temperaturen endres også gjennom døgnet. For stue/oppholdsrom viser dataene blant annet at gjennomsnittstemperaturen er 21,3°C om morgenen og 22,7°C om kvelden (Halvorsen Dalen 2012). For bygninger med kjøling påvirkes energibehovet tilsvarende av ulikheter knyttet til maksimumstemperaturer.

I tillegg til settpunkt for oppvarming og kjøling, påvirkes bygninger av hvor de er lokalisert og hvordan uteklimaet er. For områder med kalde utetemperaturer øker varmetapet gjennom bygningskonstruksjonen som gjør at energibehovet til romoppvarming og oppvarming av ventilasjonsluft også øker. Dette ble vist i kapittel 3.2. Andre faktorer som påvirker energibehovet og uteklimaet er vindforhold og regn.

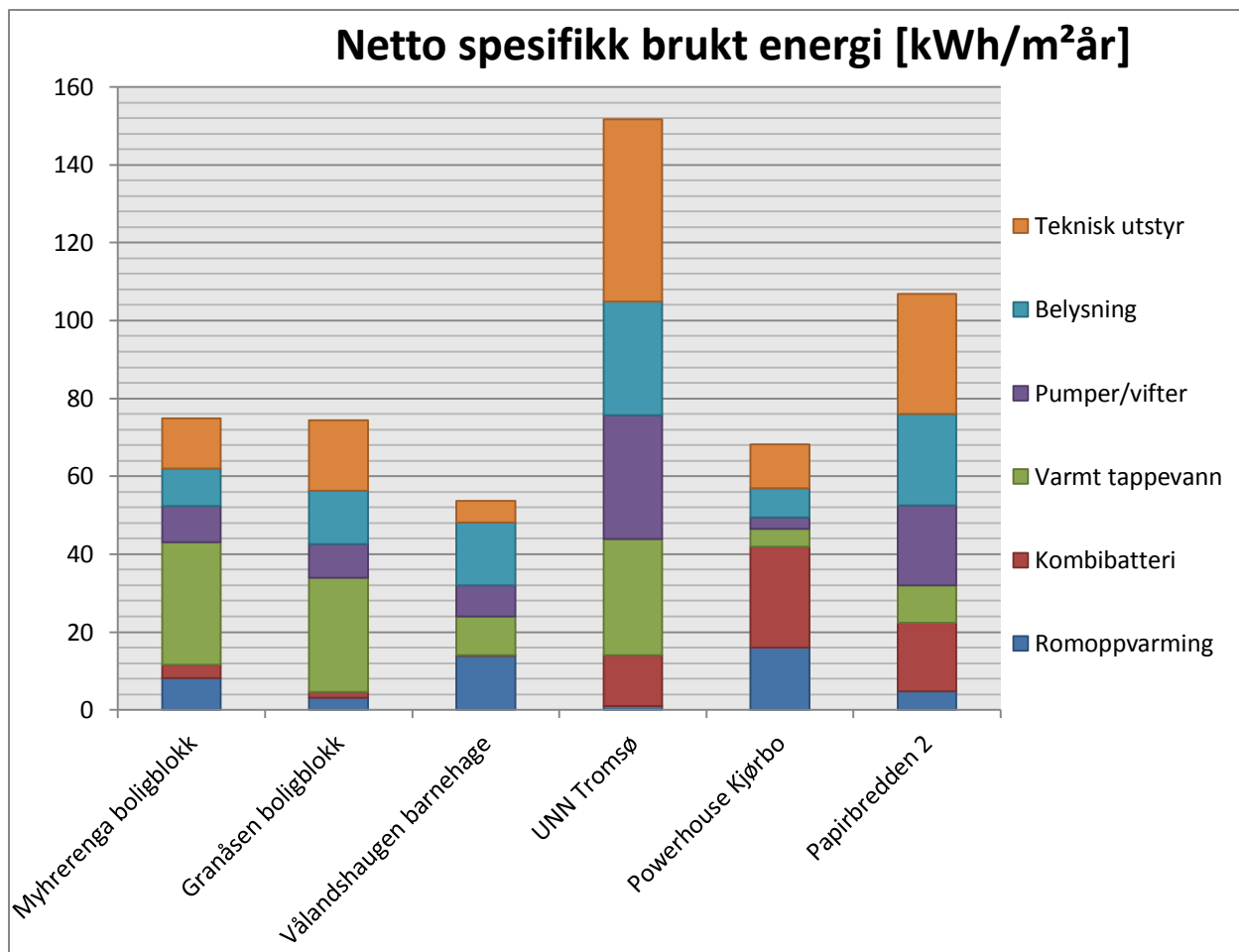
Energibehovet påvirkes videre i stor grad av ventilasjonssystemet. I tillegg til direkte bruk av elektrisitet for vifter, påvirkes det termiske klimaet i bygningen av ulike tilluftsmengder og

tilluftstemperaturer. Energibruk til romoppvarming, oppvarming og ventilasjonsluft og ventilasjonsaggregatet påvirkes dermed av krav til luftmengder for ulike bygninger, og påvirkes av personbelastning, tilstedeværelse og emisjoner fra kilder i bygningen.

Fra de ulike simuleringene gjort i kapittel 3 påvirker internlaster fra belysning, teknisk utstyr og personer i stor grad energibehovet til de ulike bygningene. Verdiene for disse ble satt ut fra prosjekterte tall, og påvirker dermed resultatene. Figur 4-1 og 4-2 nedenfor tar for seg alle de 6 modellene for de ulike bygningene representert ved levert- og brukt energi.



Figur 4-1 Netto spesifikk levert energi for de ulike bygningene som analyseres i oppgaven



Figur 4-2 Netto spesifikk brukt energi for de ulike bygningene som analyseres i oppgaven

For UNN Tromsø representeres modellen basert på VAV og ikke standardmodellen. Dette skyldes at prosjekterte verdier for systemet basert på CAV var svært høye.

For energibehov til romoppvarming viser simuleringene relativt lave tall for de to boligblokkene. Her er settpunkt for oppvarming satt til 21 °C for begge bygninger. Selv om boligblokkene i Miljøbyen Granåsen er lokalisert i kaldere klima enn Myhrerenga, viser resultatene mindre energibehov til romoppvarming. Dette skyldes lavere varmetap gjennom bygningskonstruksjon. Simuleringene for boligblokkene i kapittel 3 viste at varmebalansen var sterkt påvirket av varmetilskudd fra belysning, utstyr og personer. Da jevn fordeling for disse utenom arbeidsdagen er antatt, bidrar dette til å holde temperaturen jevn, og dermed redusere energibehovet til romoppvarming. Dette gjør at energibehovet til romoppvarming tilknyttet yrkesbygningene er i tilsvarende størrelsesorden, selv om bygningen brukes for færre timer av dagen. For energibehovet til oppvarming og kjøling av ventilasjonssluffa er de største verdiene knyttet til yrkesbygningene. Dette skyldes krav til større luftmengder og kjøling. Unntaket er Vålandshaugen barnehage, som har svært lavt energibehov her.

Hovedgrunnen til det er at bygningen er lokalisert i et mildt utklime i Stavanger.

Energibehovet til vifter i ventilasjonssystemet samt belysning og teknisk utstyr er også i stor grad avhengig av bygningstype. For UNN Tromsø var energibehovet for disse kategoriene stort sammenlignet med de andre bygningene. UNN Tromsø viste høyest netto energibehov både for brukt og levert energi. Tromsø representerer imidlertid det kaldeste uteklimaet og har drift hele døgnet. I tillegg til dette stilles strenge krav til inneklime i sykehus.

Sammenlignes energibehovet for boligbygningene med yrkesbygningene, domineres boligbygningene i mye større grad av varmt tappevann. Dette skyldes forskjeller i bruk for ulike bygningstyper.

Selv om brukt energi for Myhrerenga og Miljøbyen Granåsen er like, er levert energi en god del større for Miljøbyen Granåsen. Dette viser potensialet for energisparing for ulike energiforsyninger. Størst innvirkning på energibehovet har energiforsyningen for Powerhouse Kjørbo som reduseres med 34,4kWh/m² tilvarende 50% av det totale energibehovet. Dette skyldes høy gjennomsnittlig COP og høy energidekningsgrad. Stor usikkerhet stilles imidlertid til tall for dette som baseres på prosjekterte verdier.

5. Referanseliste

Alsaker, 2007. *Behovsstyrt og behovstilpasset klimatisering – energibruk og inneklima.*

[Internett] <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:426900/FULLTEXT01.pdf>

Hentedato: 4.4.2015.

Arbeidstilsynet, 2015. *Temperatur – varme og kulde på jobben.*

[internett] Tilgjengelig på: <http://www.arbeidstilsynet.no/fakta.html?tid=78340>

Hentedato: 18.5.2015.

Bernhard P., 2013. *Tilleggsinfo PV-anlegg – Powerhouse Kjørbo.*

Mottatt PDF 3.4.2015.

Bernhardsen H. et. Al, 2010. *Energifokus i tidligfase av byggeprosjekte.* Masteroppgave NTNU.

Dokka T.H., 2009. *Myhrerenga borettslag: Ambisiøs rehabilitering av 1960-talls blokker med passivhiskomponente, AS-BUILT simuleringer og dokumentasjon av Myhrerenga BRL etter rehabilitering.* Mottatt PDF Juli 2014.

Flægstad H. V., 2012. *Virkning av solavskjerming på energisparepotensial og dagslys i bygninger.*

Masteroppgave NTNU.

Halvorsen og Dalen, 2012. *Ta hjemmetempen. Rapport fra forskningskampanjen 2012.* [Internett]

Tilgjengelig på: http://www.miljolare.no/innsendt/pdf/vedlegg/33783/519b2f58132a8/rapp2013-19_web.pdf

Hentedato 23.4.2015

Heatline, 2015. *Målte data for Myhrerenga borettslag.* [Internett] Tilgjengelig på:

<http://www.heatline.no/tax/index.jsp?bid=66&eid=177> Hentedato 9.3.2015

Jenssen B., 2013. *Søknad til Enovas program for ny teknologi i fremtidens bygg: Rehabilitering til Powerhouse-standard for Kjørbo Blokk 4 og 5, Kjørboparken, Sandvika.* Mottatt PDF Juli 2014.

Jenssen B., 2015. *Energimålinger Powerhouse Kjørbo.* Epost 15.5.2015

Jonsson K. B., 2015. *Energibruk Grønland 51, Papirbredden II – Formålsdelt energi.* Mottatt på

Epost, 4.5.2015.

Maile T. et. Al., 2007 *Building Energy Performance Simulation Tools – a Life-Cycle and*

Interoperable Perspective, Stanford University.

Mathisen H.M., Halvarsson J., 2007. *Samtidighet som en del av grunnlag for dimensjonering av ventilasjon,* SINTEF, TR A6531

Meteorologisk institutt, 2013. *eKlima.* [Internett] Tilgjengelig på:

<http://www.eklima.no>

Hentedato 17.4.2015.

Nilsson P. E., 2003. *Achieving the Desired Indoor Climate. Energy Efficiency Aspects of System Design.*

Nord N., FEILBERG N., BAKKEN B., ANDRESEN I., HAASE M. & MURPHY M., 2010. *Overview of available simulation tools in our environment. The Research Centre on Zero Emission Buildings.*

Norsk elbilforening, 2012. *Strømforbruk på en elbil.* [internett] Tilgjengelig på:
<http://elbil.no/elbilforeningen/prosjekter/borettslag/746-stromforbruk-pa-en-elbil>
Hentedato: 3.4.2015.

NS 3031, 2011, NS 3031:2007+A1:2011. *Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data, utgave 1,* Standard Norge.
[internett] Tilgjengelig på:
<http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=507701>

Paszkievicz P., 2010. *Tetthetskontroll av boligblokk.* Mottatt PDF Juli 2014.

Petersen et al., 2009. *Forhold tilknyttet bruk av roterende varmegjenvinnere i skoler.* [Internett] Tilgjengelig på: http://www.erichsen-horgen.no/resources/filer/publikasjoner/2009-RGV_i_skoler.pdf
Hentedato: 18.5.2015

Rambøll, 2012. *Miljørapport Papirbredden II.* Mottatt PDF, Juli 2014.

Sintef Byggforsk, 2014. *Prosjektbeskrivelse – Støtte til passivhus og lavenergibygg Miljøbyen Granåsen trinn B5-1 blokk H1 og H2.* Mottatt PDF Juli 2014.

Stavanger Kommune, 2011. *Vålandshaugen barnehage passivhusstandard – Forprosjekt februar 2011.* Mottatt PDF Juli 2014.

Stavanger Kommune, 2015. *Vålandshaugen barnehage.* [Internett] Tilgjengelig på:
<http://beta.minbarnehage.no/stpetri/Underside/546>
Hentedato: 7.9.2014.

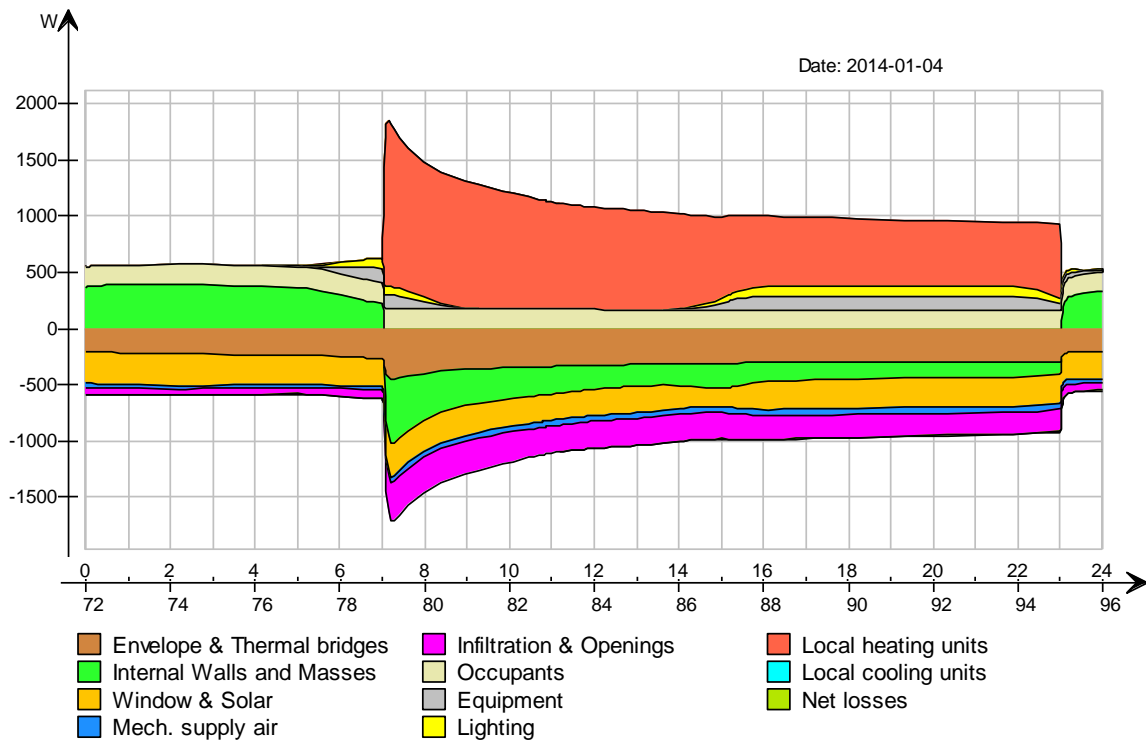
Universitetssykehuset Nord-Norge HF, 2011. *Prosjektbeskrivelse. Støtte til passivhus og lavenergibygg UNN Tromsø – Ny A-fløy.* Mottatt PDF Juli 2014.

U.S. department of energy, 2015. *Building Energy Software Tools Directory – IDA ICE.* [Internett]. Tilgjengelig på:
http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=243/pagename=alpha_list_su
b Hentedato 3.3.2015

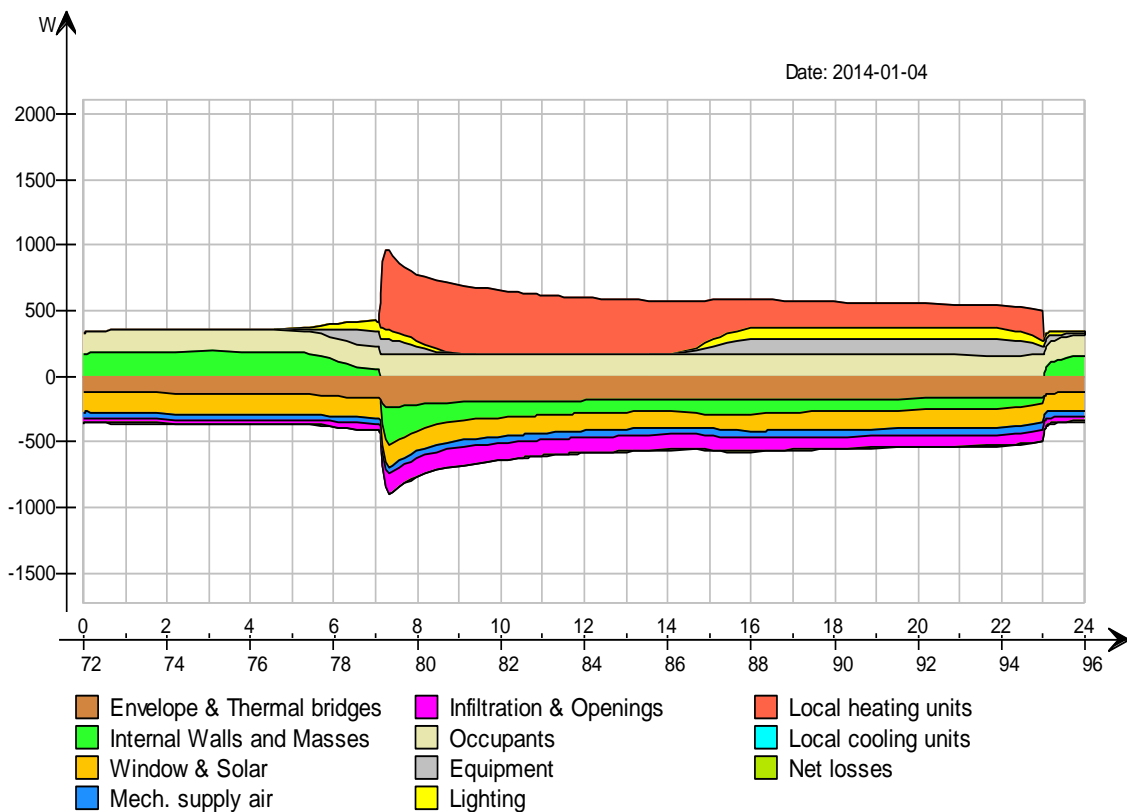
U.S. department of energy, 2015. *Building Energy Software Tools Directory – Energy Plus.* [Internett]. Tilgjengelig på:
http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=287/pagename=alpha_list_su
b Hentedato 10.9.2014

Wargocki P et. Al., 2000. *Productivity is affected by the air quality in offices.*

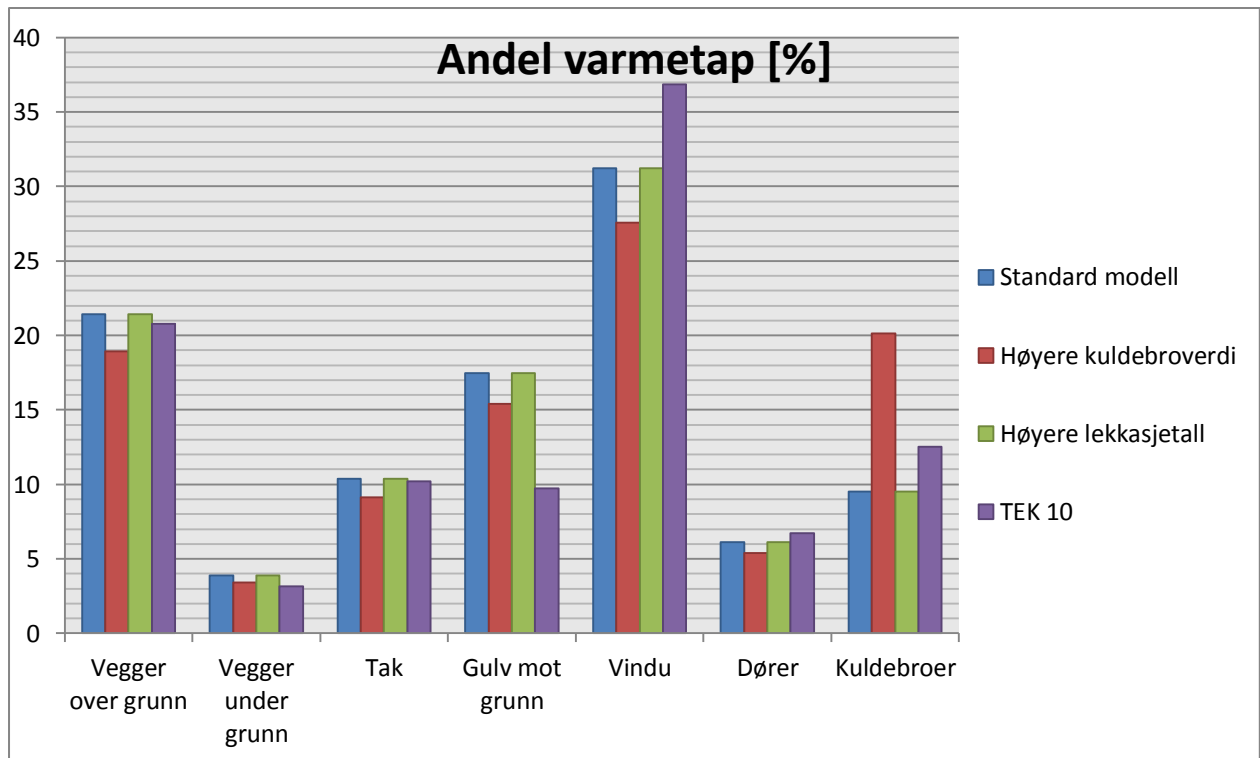
Vedlegg A, Myhrerenga borettslag



A-0-1 Varmebalanse hjørneleilighet bygningskomponenter etter TEK 10

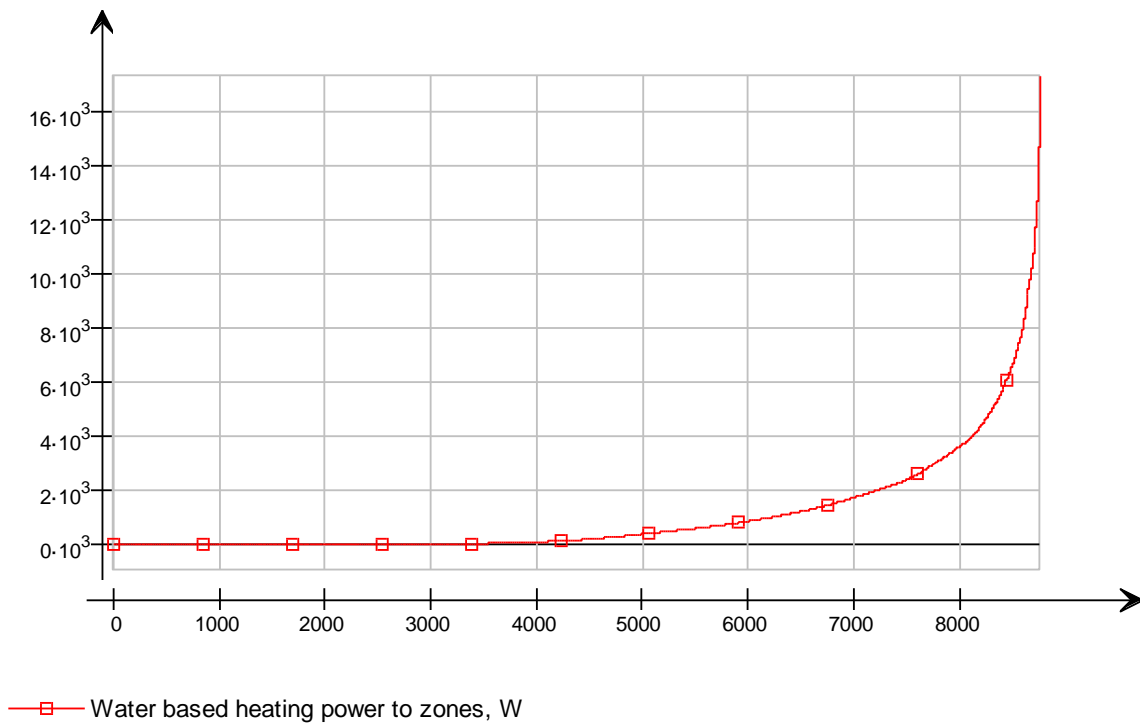


A-0-2 Varmebalanse hjørneleilighet standard modell

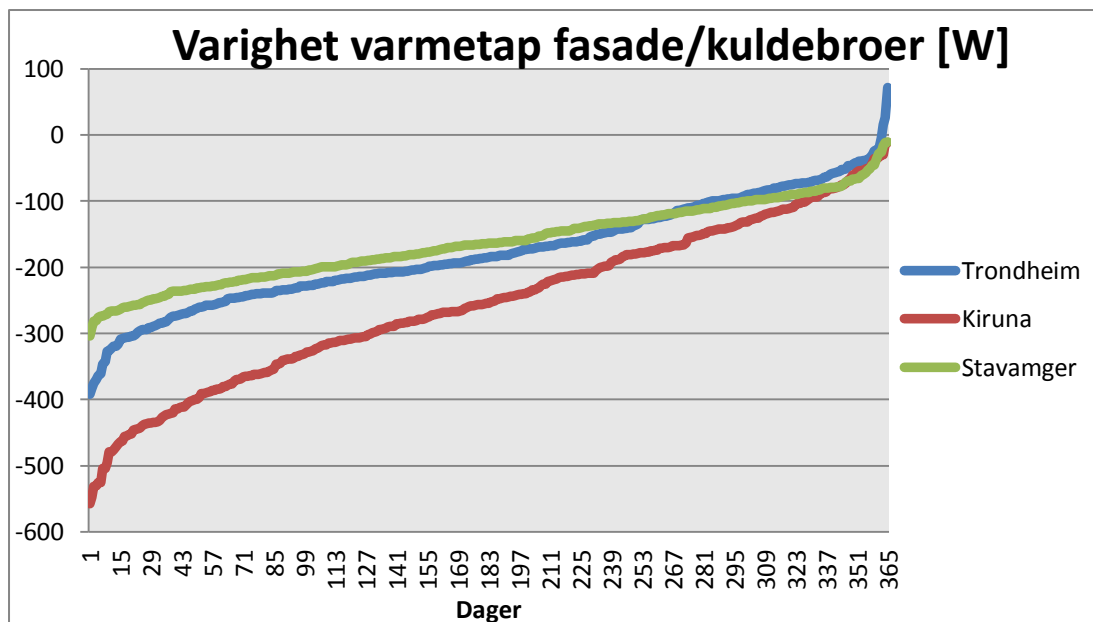


A-0-3 Andel varmetap for simulering 3-5

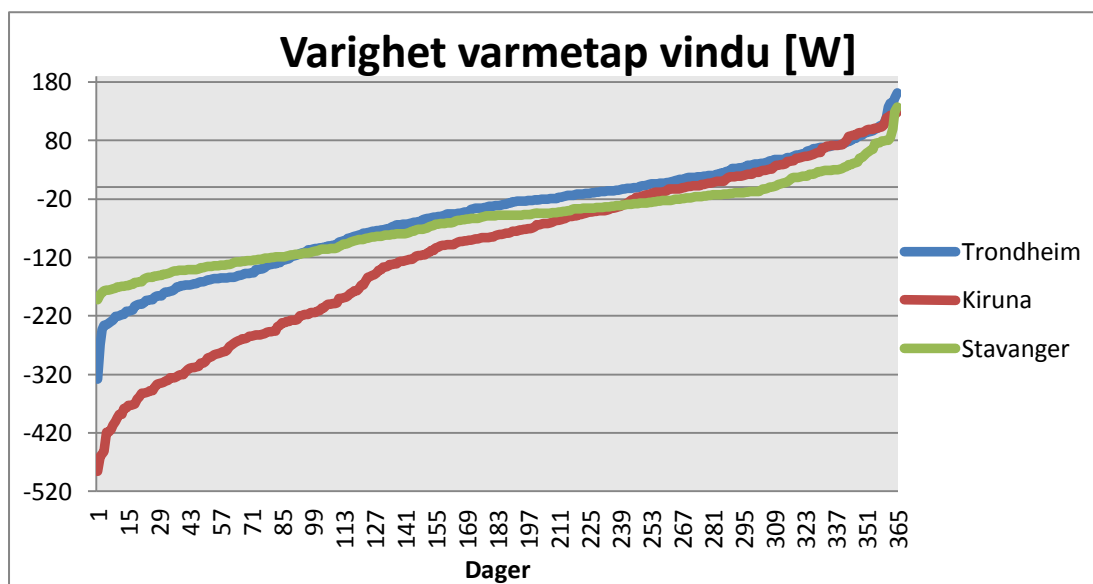
Vedlegg B, Boligblokk Miljøbyen Granåsen



B-0-1 Varighet romoppvarming for bygningen

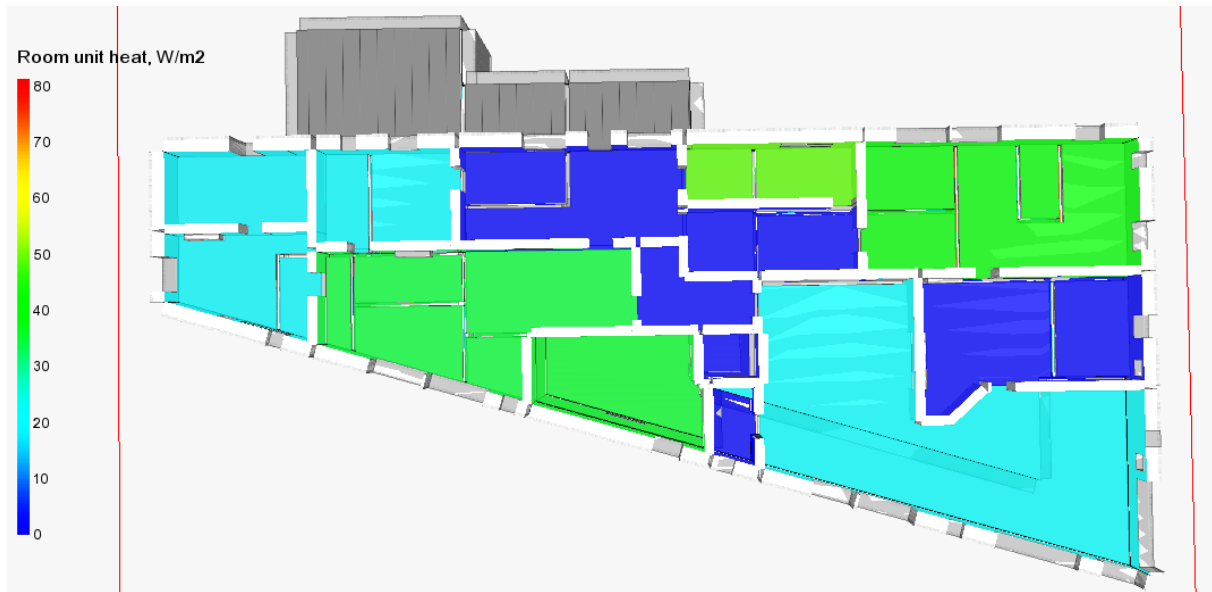


B-0-2 Varighet varmetap knyttet til fasade og kuldebroer for ulike modeller

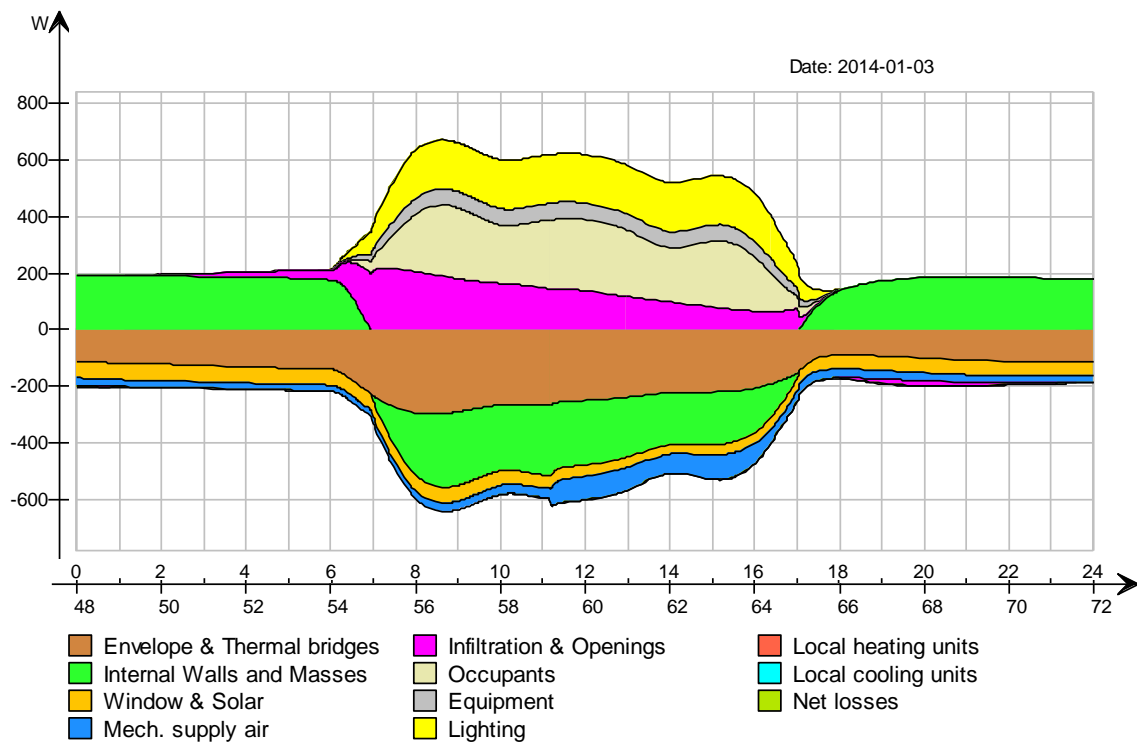


B-0-3 Varighet varmetap knyttet til vinduer for ulike modeller

Vedlegg C, Vålandshaugen barnehage

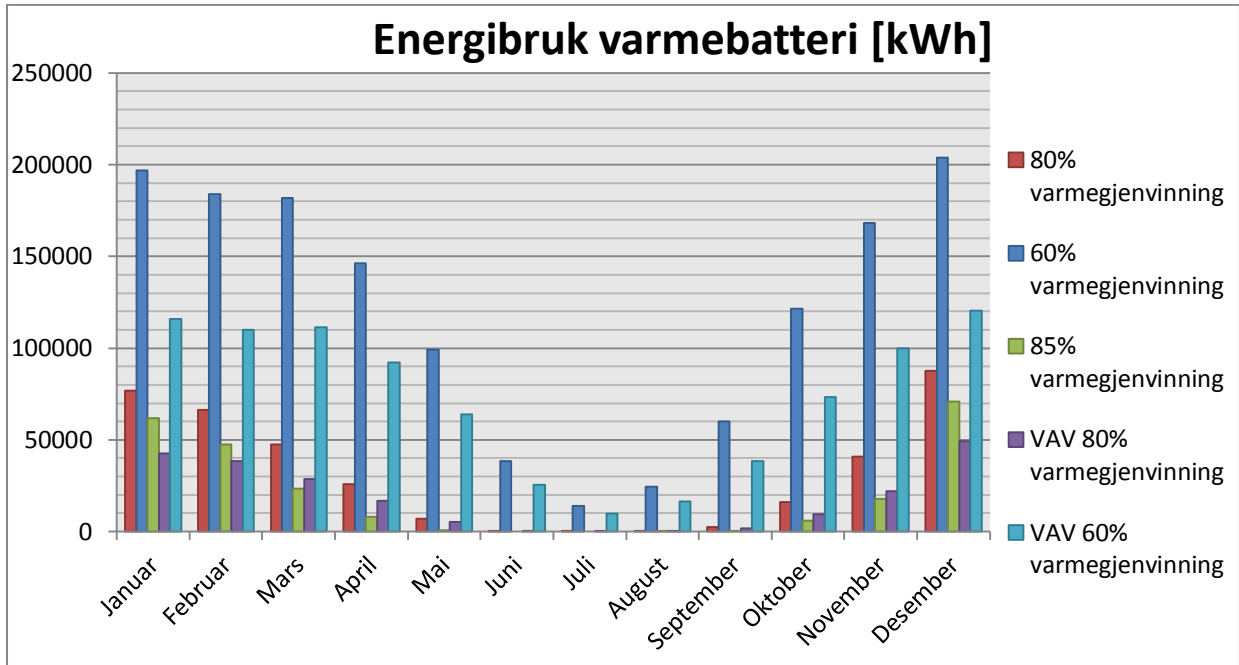


C-0-1 Varmeavgivelse i ulike soner ved definert radiatorplassering. Soner representert med mørkeblått har ingen radiator og mottar varme fra nabosoner. Sonen som analyseres er sonen helt til høyre i illustrasjonen.

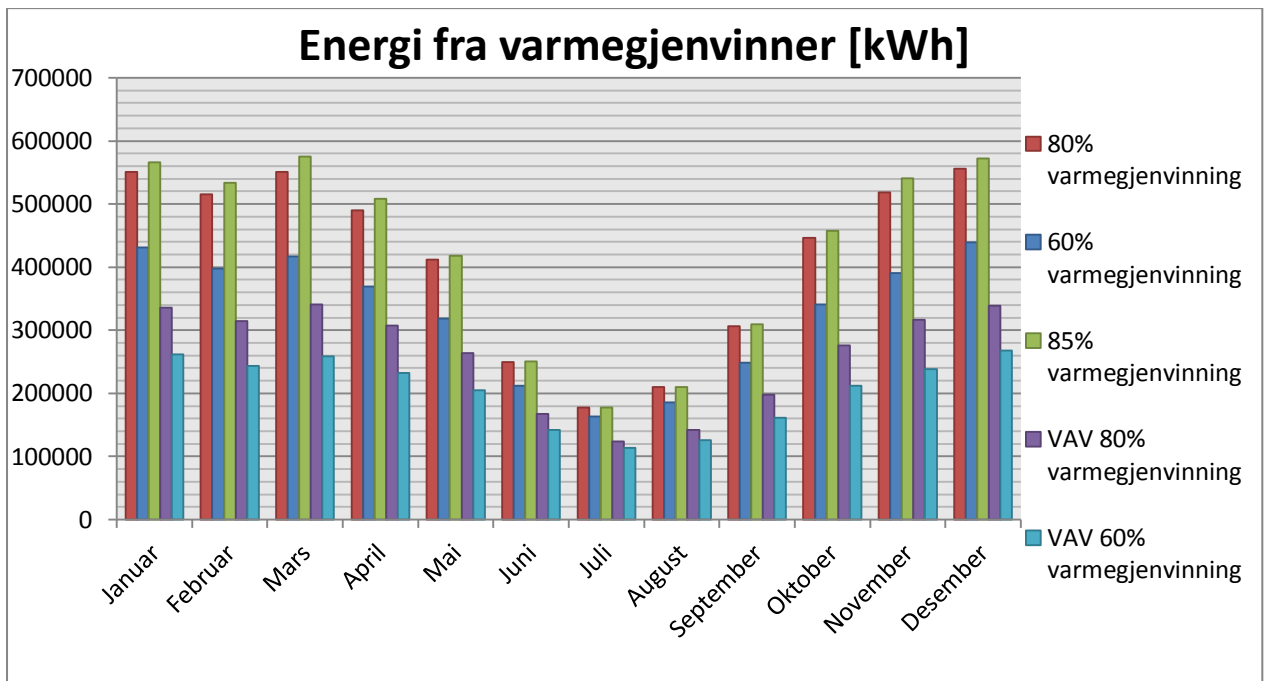


C-0-2 Energibalanse for forming ved sentralt plasserte radiatorer dimensjonerende vinterforhold

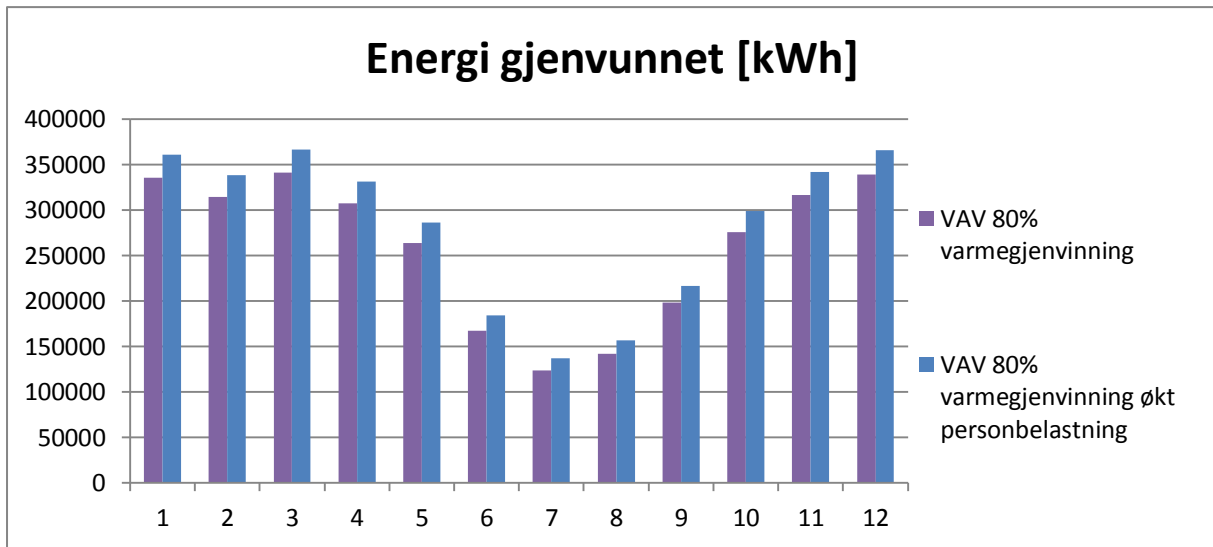
Vedlegg D, UNN Tromsø



D-0-1 Energibruk gjennom året for varmebatteri ulike modeller

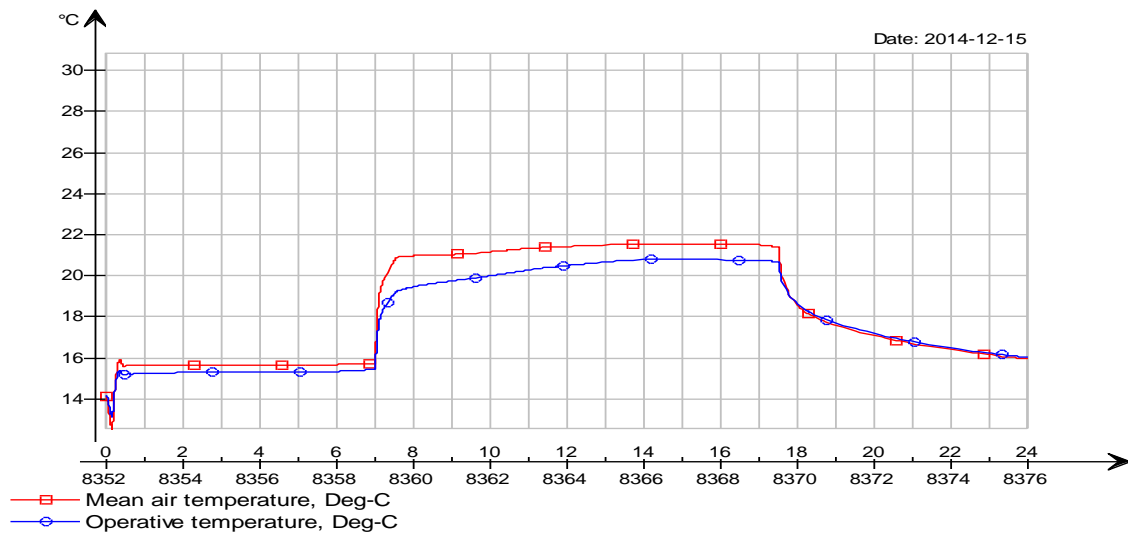


D-0-2 Energi gjenvunnet fra varmegjenvinner i ventilasjonssystemet ulike modeller

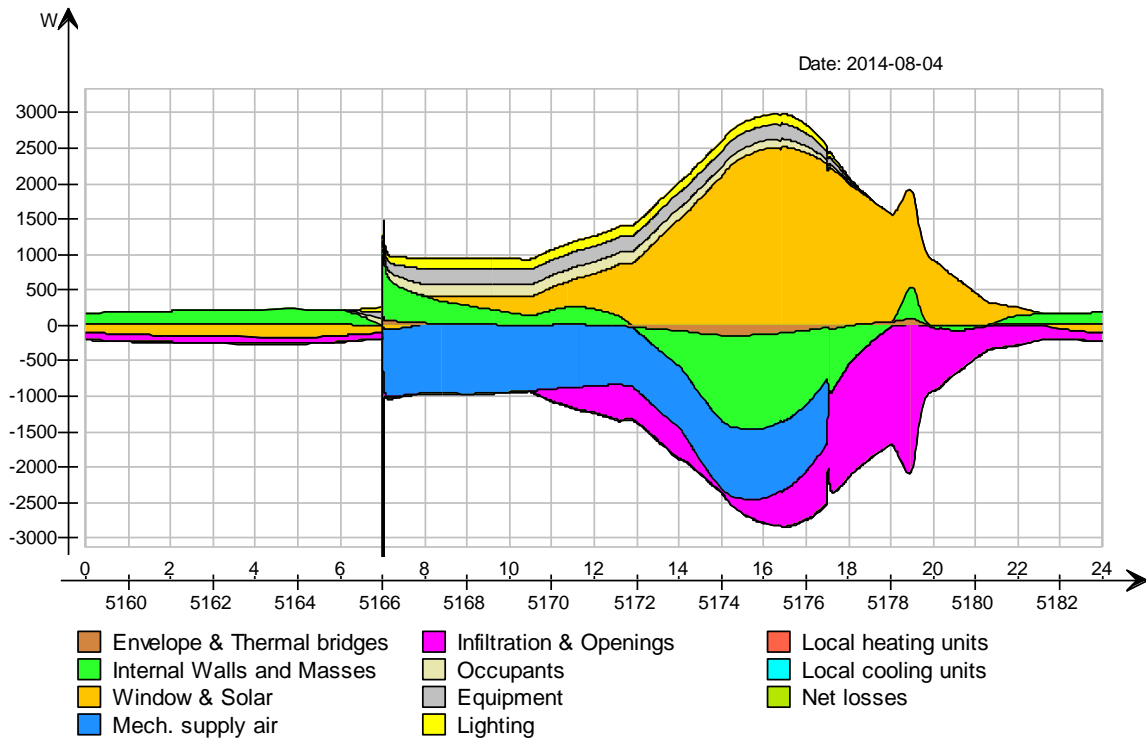


D-0-3 Forskjell i gjenvunnet energi for de 2 modellene

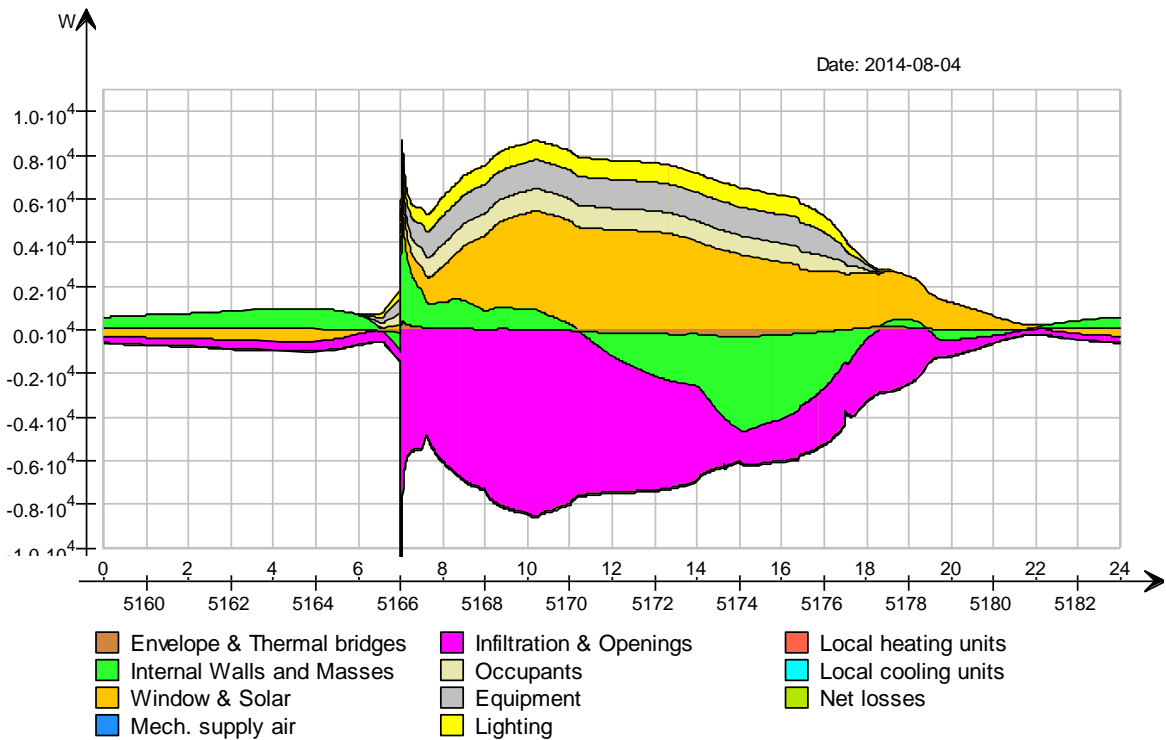
Vedlegg E, Powerhouse Kjørbo



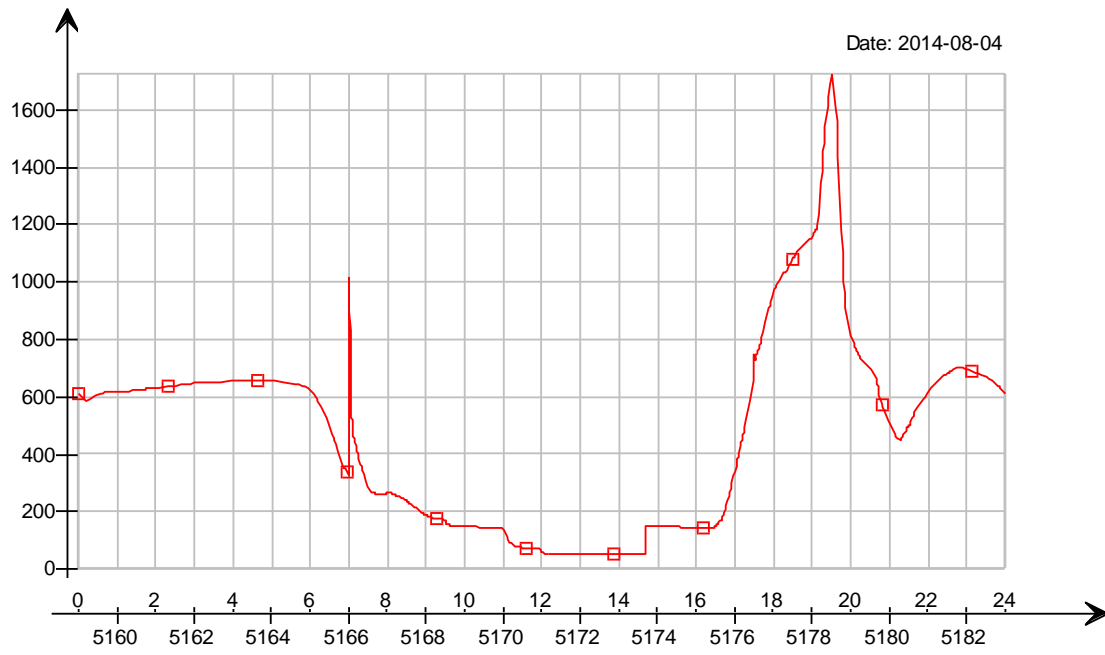
E-1 Temperatur for kontor dimensjonerende vinterforhold



E-2 Energibalanse kontor dimmensjonerende sommerforhold

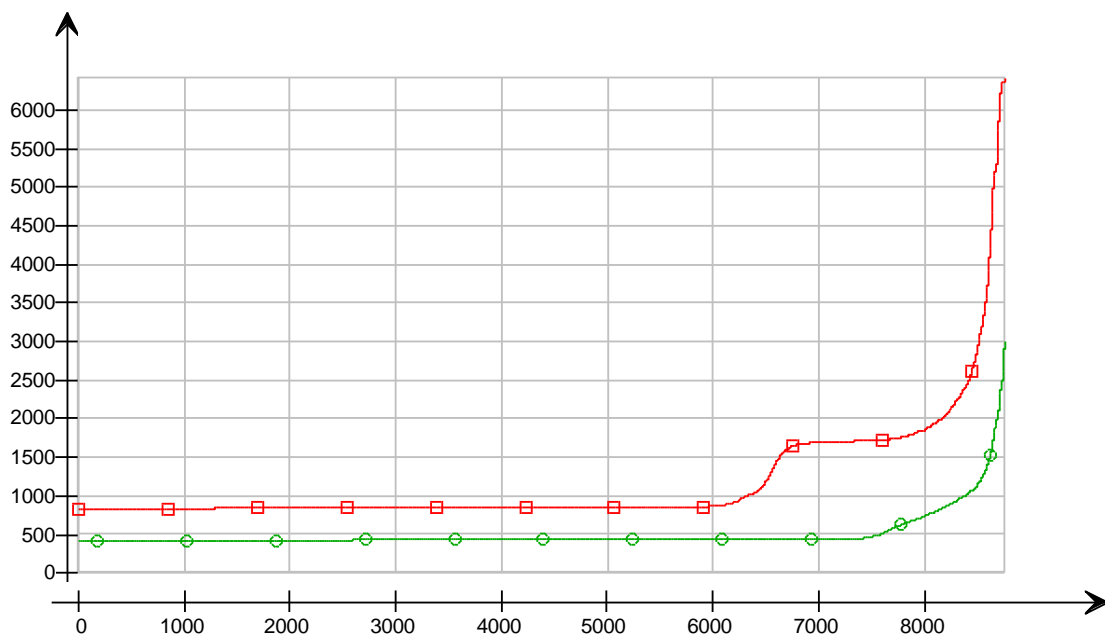


E-3 Energibalanse landskap dimmensjonerende sommerforhold



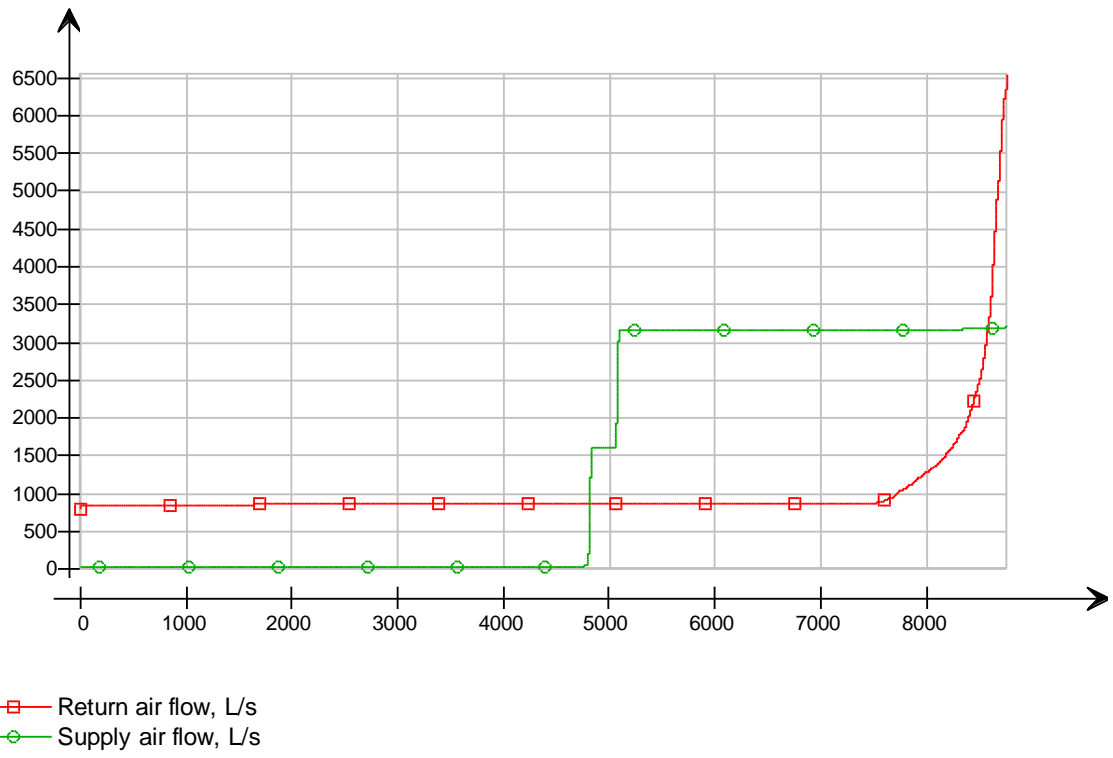
—□— Inflow through internal walls, L/s

E-4 Luftgjennomstrømning til landskap for dimensjonerende sommerforhold

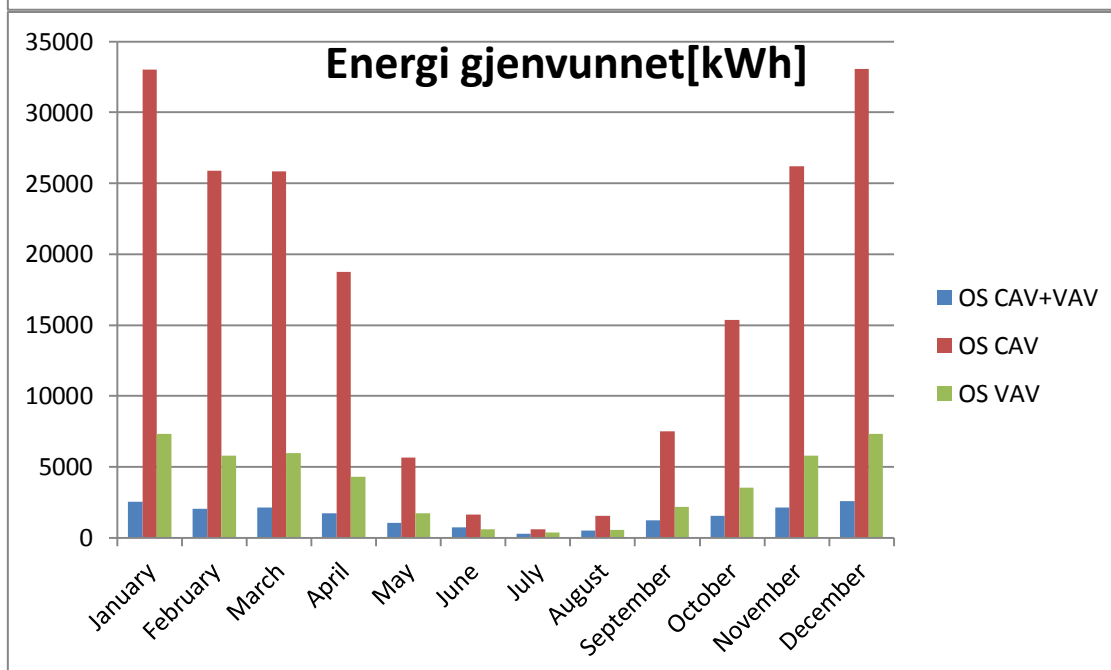
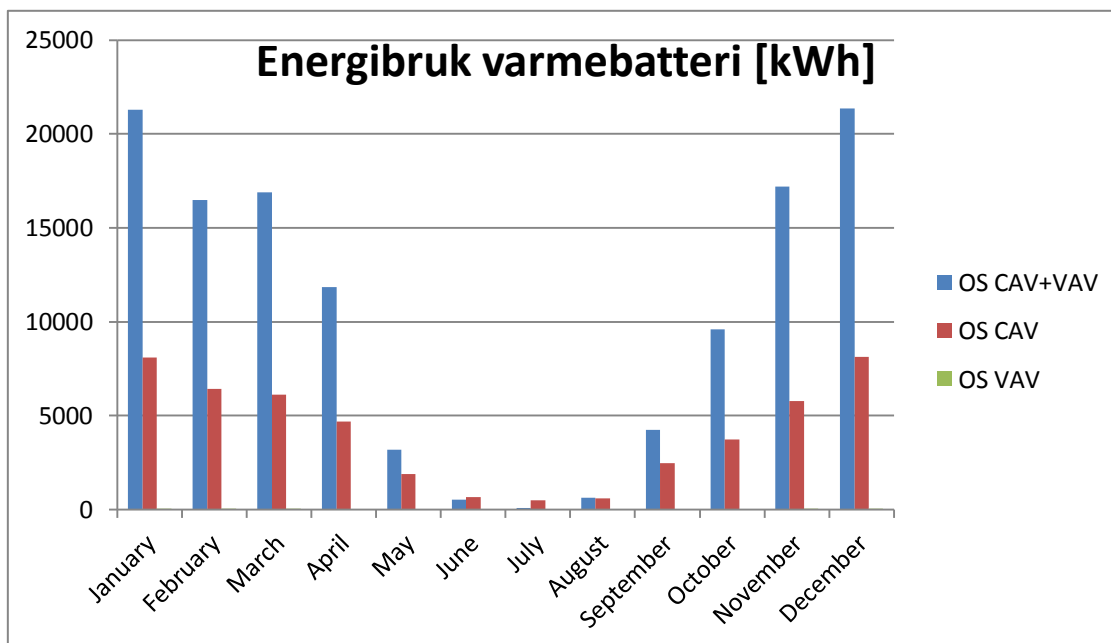


—□— Return air flow, L/s
—○— Supply air flow, L/s

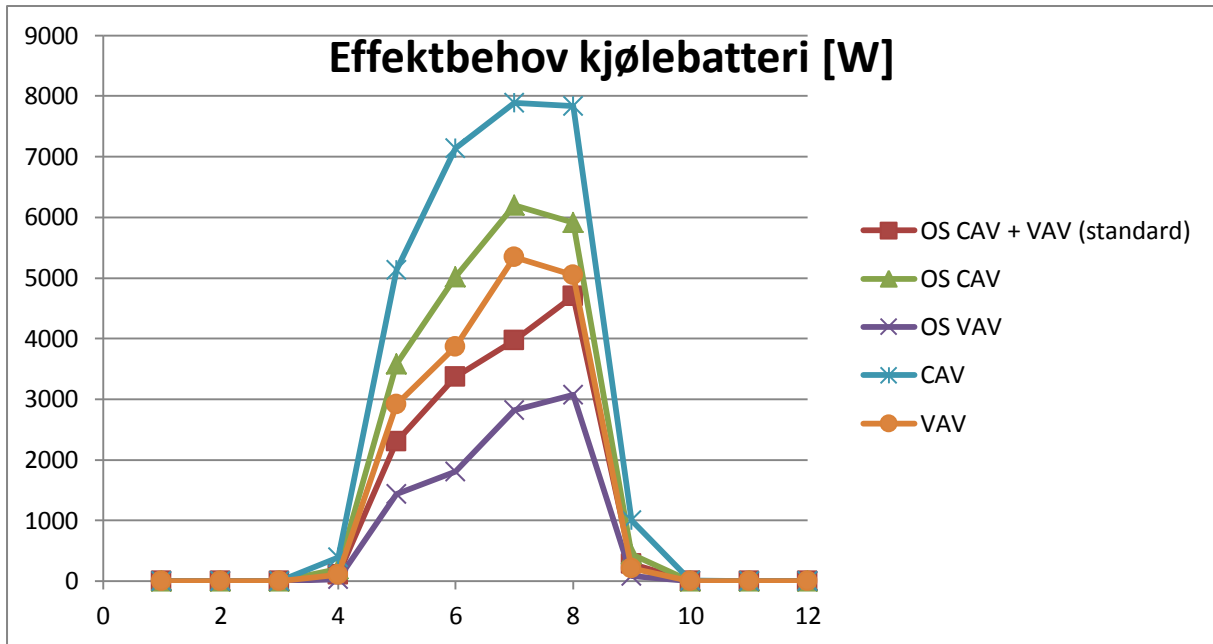
E-5 Varighet luftmengder for OS VAV



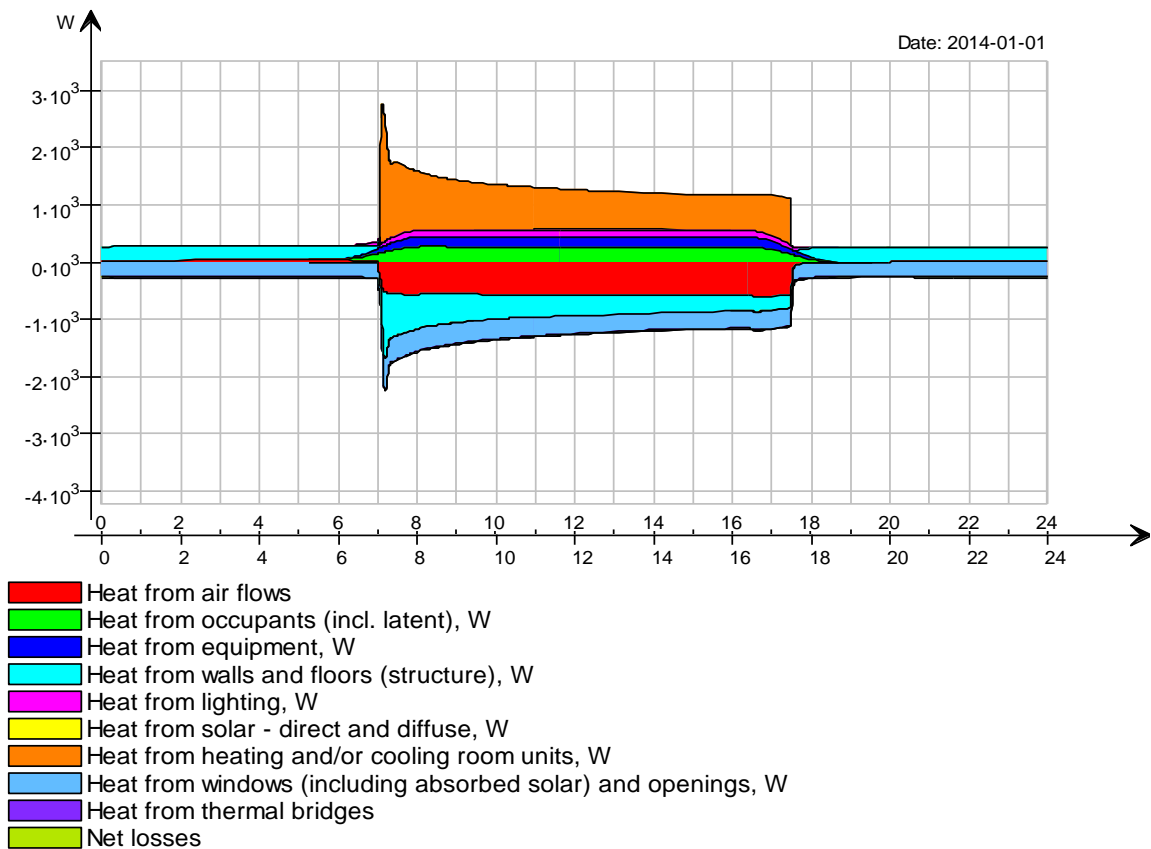
E-6 Varighet luftmengder for OS CAV + OS VAV



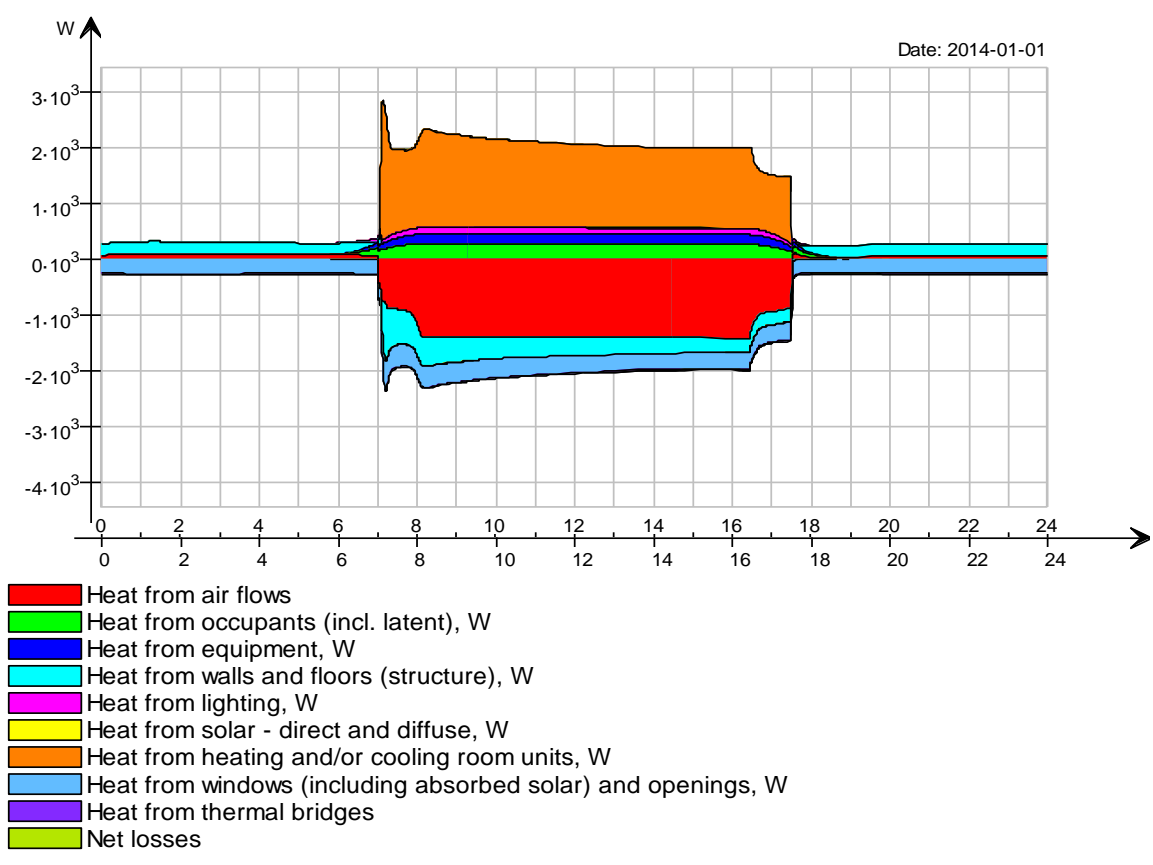
E-7 Energibruk varmebatterier og energi gjenvunnet for de ulike modellene



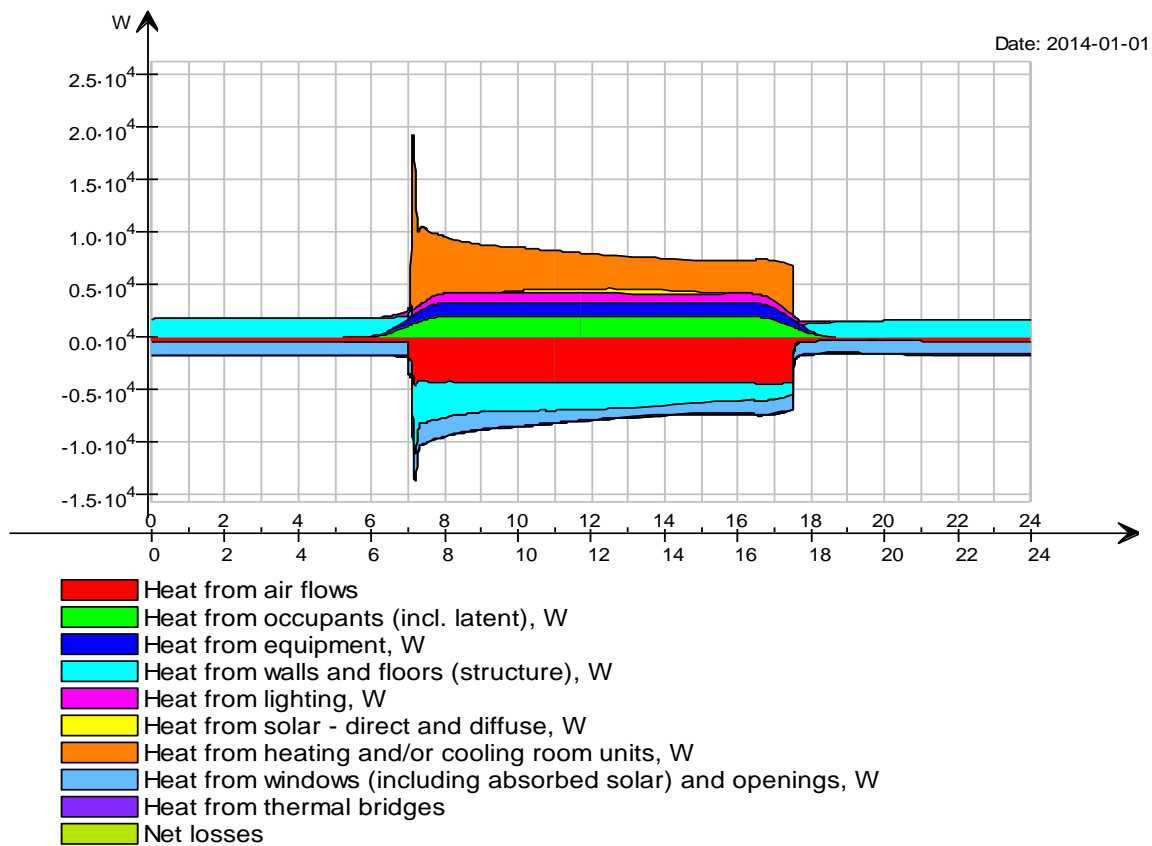
E-8 Effektbehov kjølebatteri for de ulike modellene



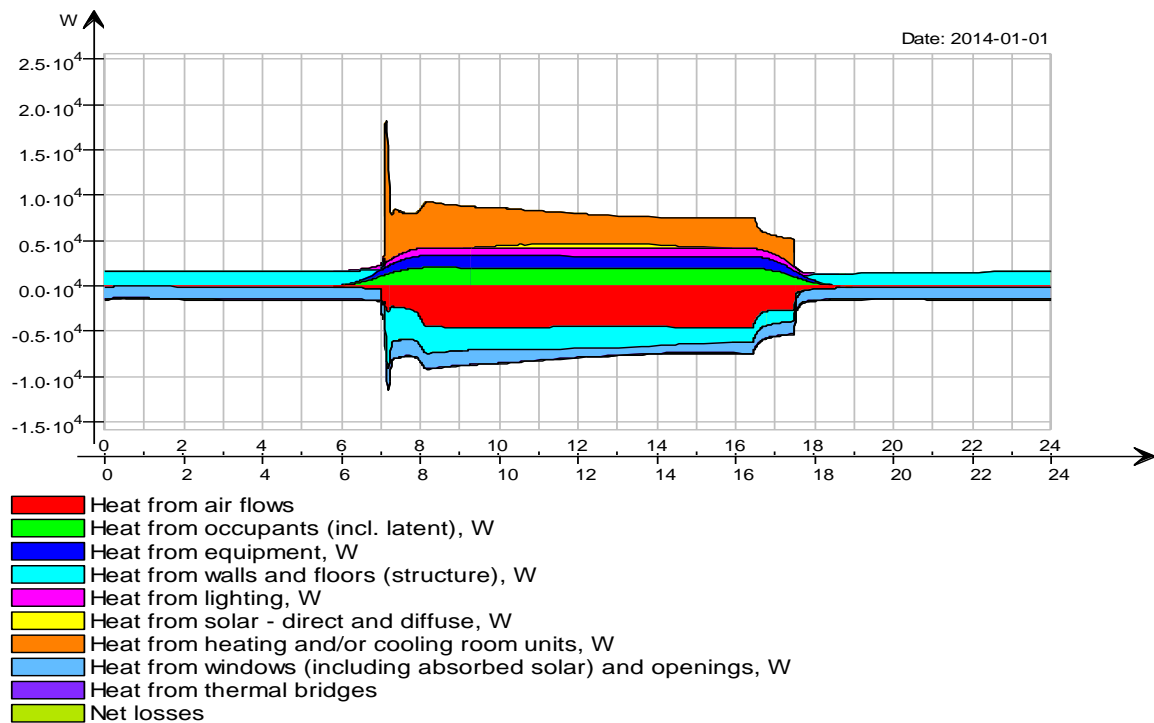
E-9 Varmebalance kontor for modell med CAV



E-10 Varmebalanse kontor for modell med OS CAV

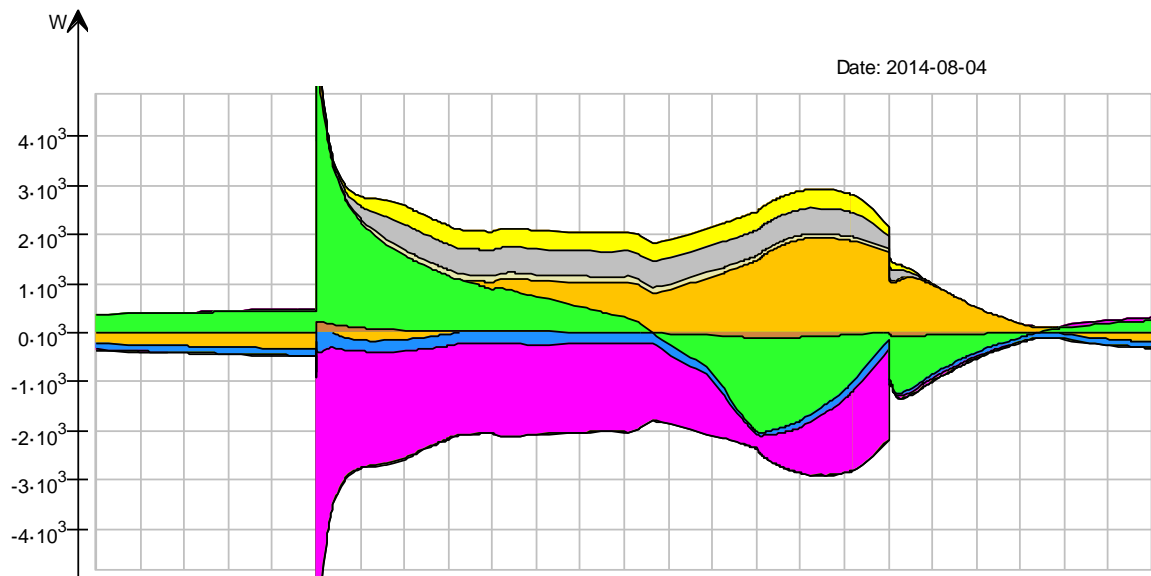


E-11 Varmebalanse landskap for modell med CAV



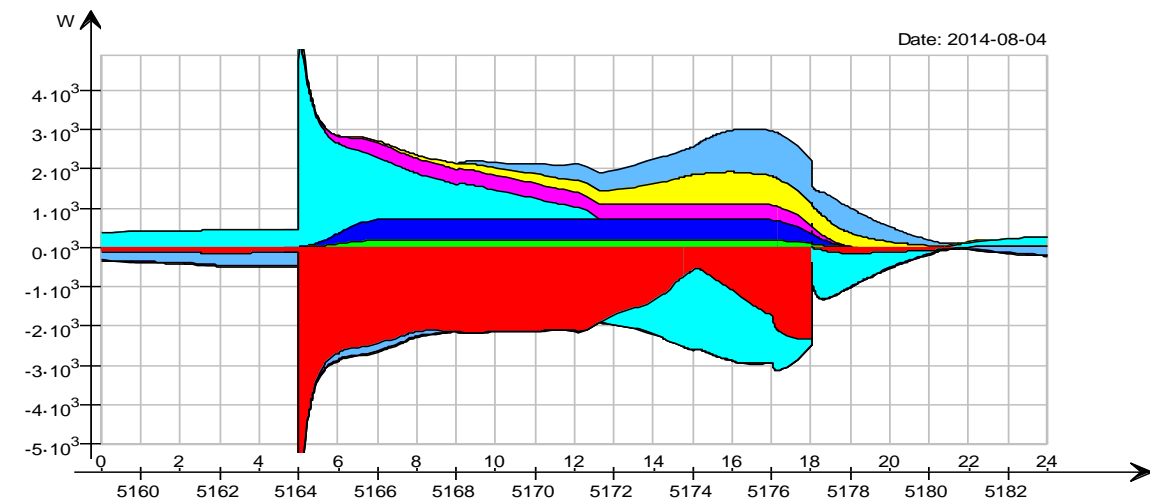
E-12 Varmebalanse landskap for modell med OS CAV

Vedlegg F, Papirbredden II



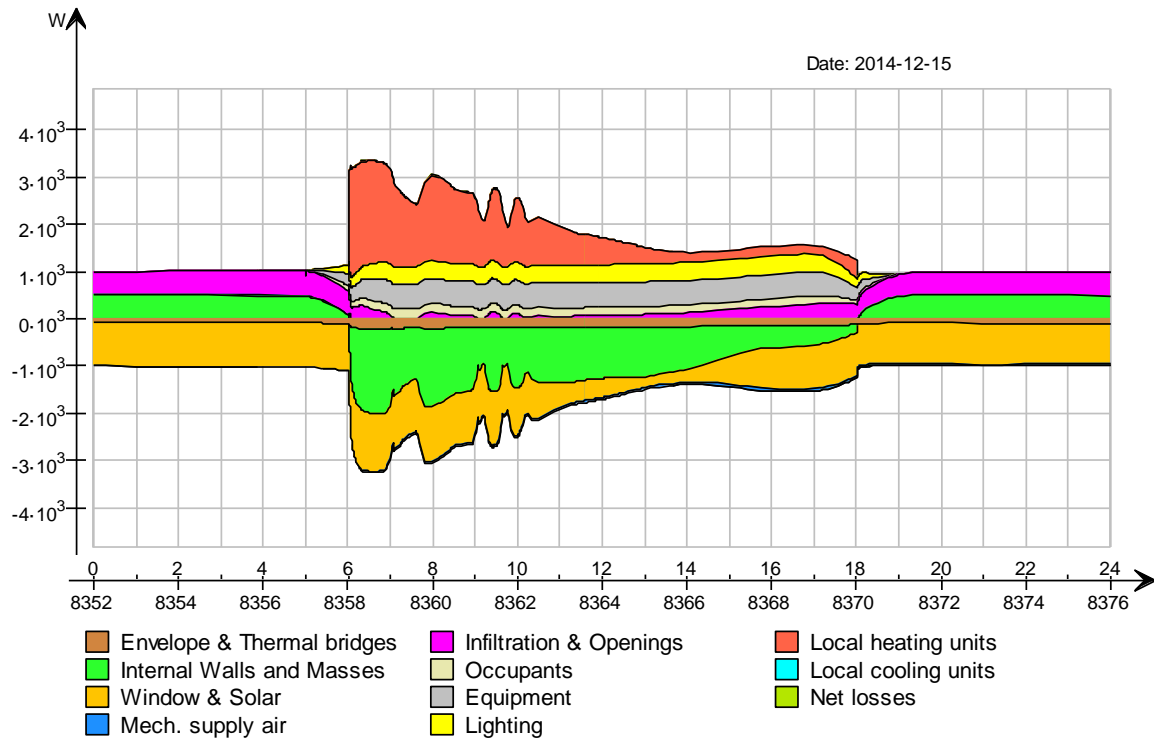
- | | | |
|----------------------------|-------------------------|---------------------|
| Envelope & Thermal bridges | Infiltration & Openings | Local heating units |
| Internal Walls and Masses | Occupants | Local cooling units |
| Window & Solar | Equipment | Net losses |
| Mech. supply air | Lighting | |

F-1 Energibalanse cellekontor dimensjonerte sommerforhold

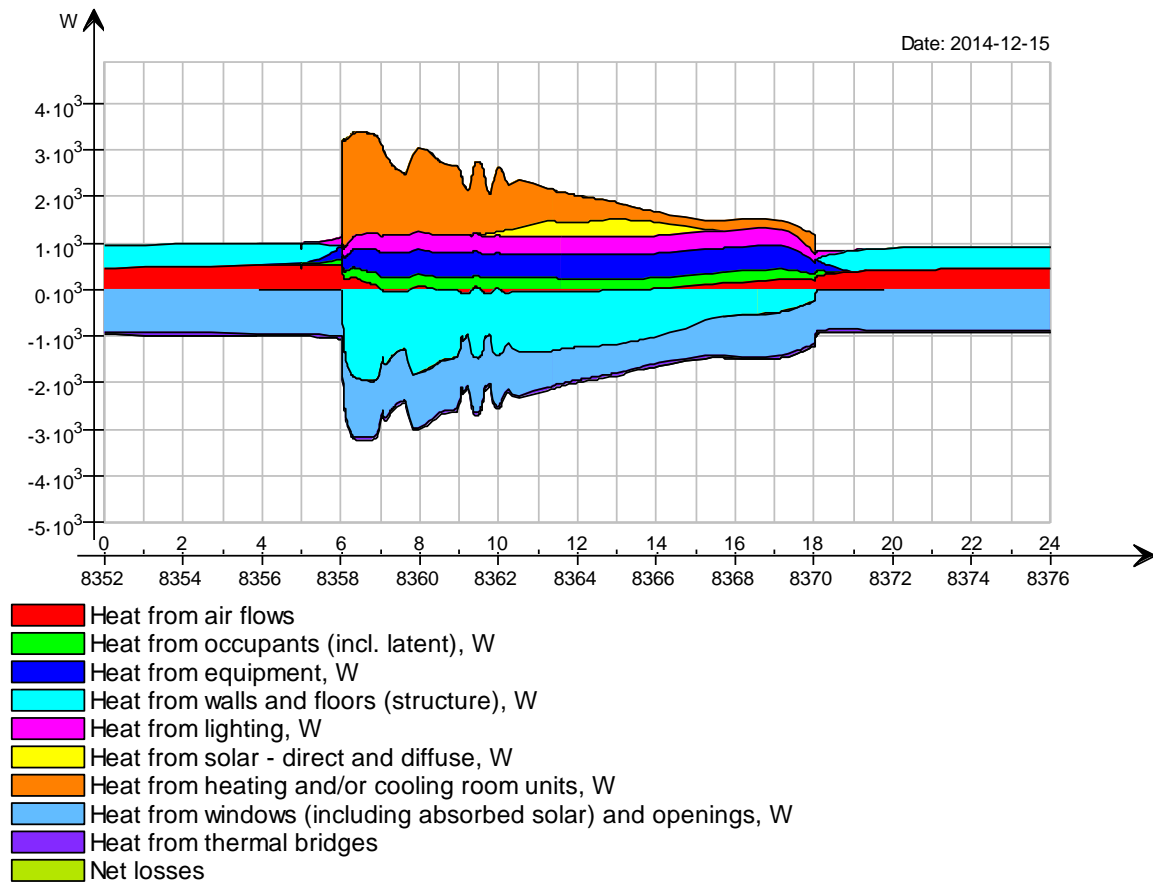


- | |
|--|
| Heat from air flows |
| Heat from occupants (incl. latent), W |
| Heat from equipment, W |
| Heat from walls and floors (structure), W |
| Heat from lighting, W |
| Heat from solar - direct and diffuse, W |
| Heat from heating and/or cooling room units, W |
| Heat from windows (including absorbed solar) and openings, W |
| Heat from thermal bridges |
| Net losses |

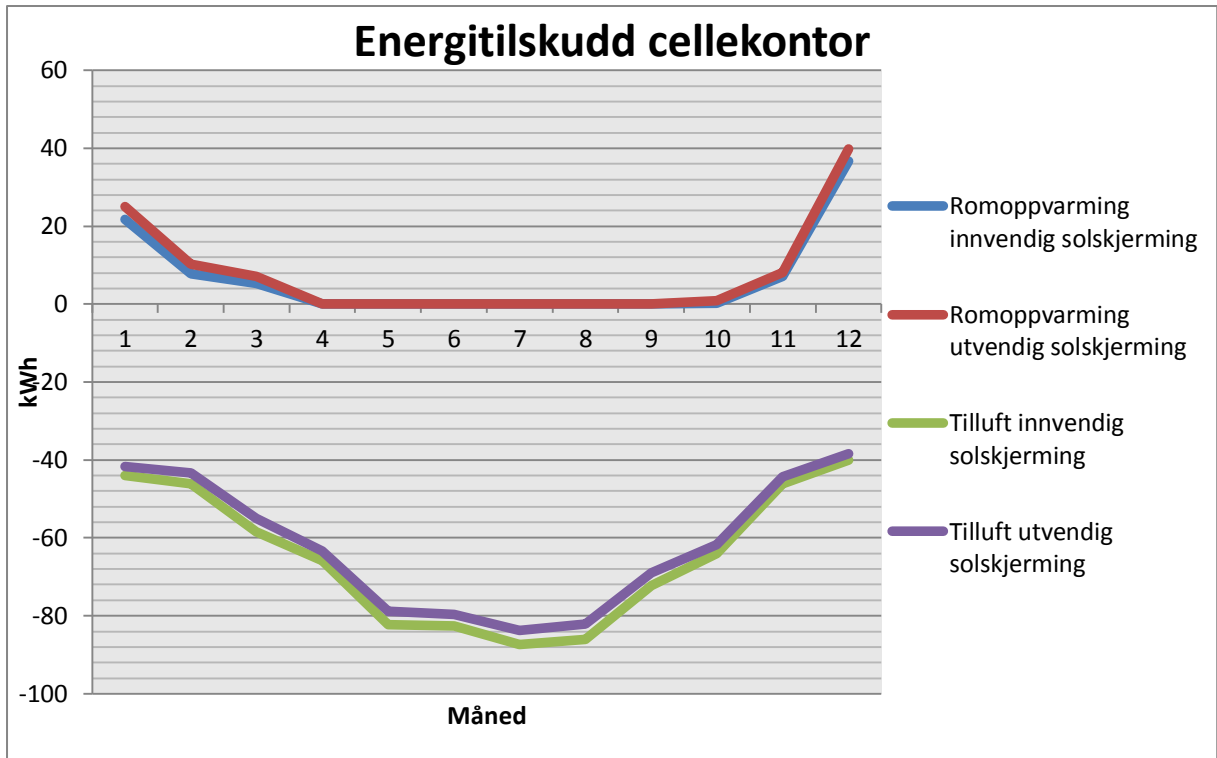
F-2 Varmebalanse cellekontor dimensjonerte sommerforhold



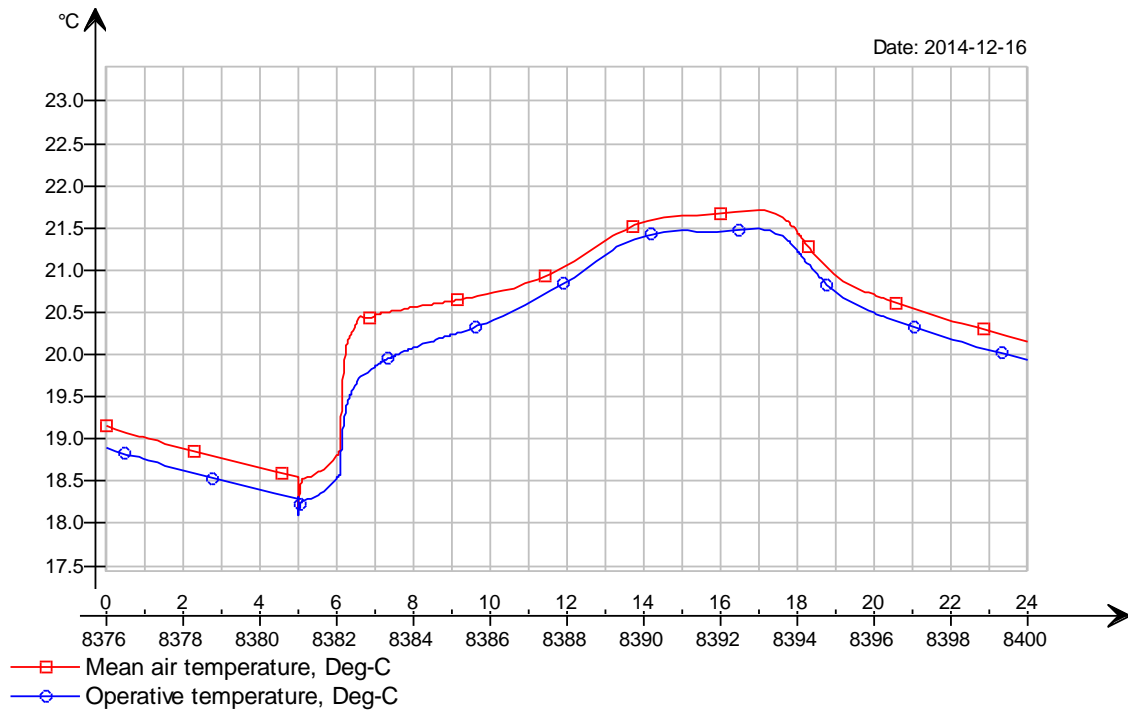
F-3 Energibalanse cellekontor dimensjonerte vinterforhold



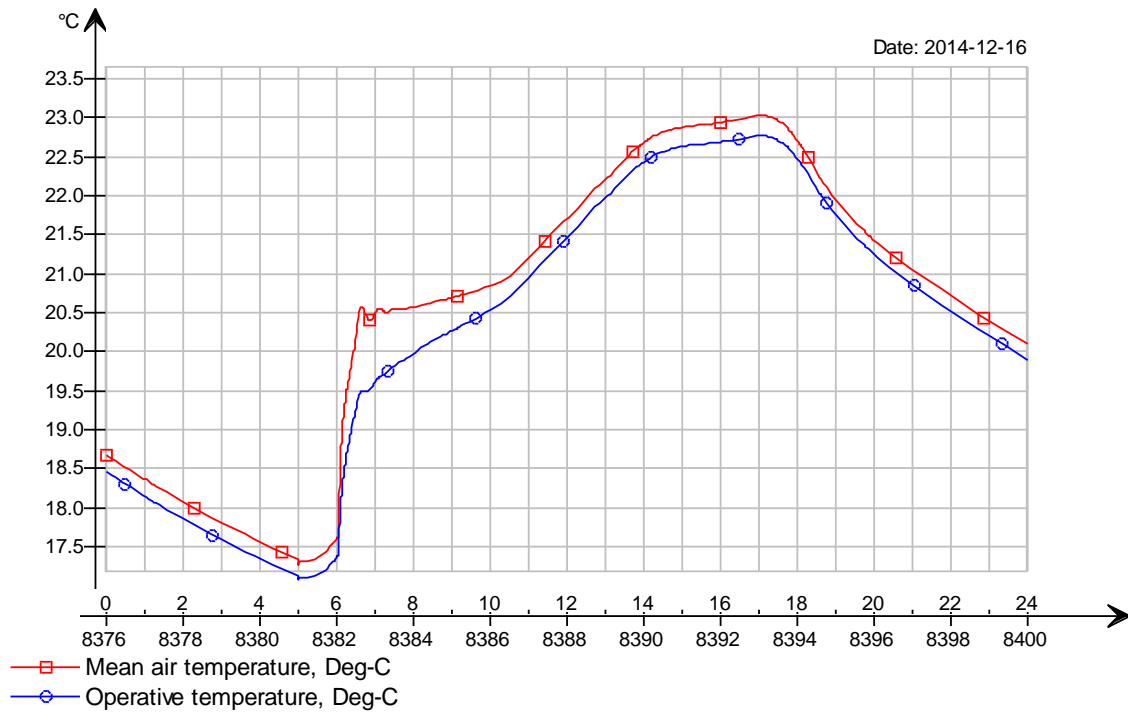
F-4 Varmebalanse cellekontor dimensjonerte vinterforhold



F-5 Energitilskudd cellekontor for året



F-6 Temperaturfordeling for modell med betong som termisk masse



F-7 Temperaturfordeling for modell uten betong som termisk masse