



OsloMet – storbyuniversitetet

Institutt for Bygg- og energiteknikk – Energi og miljø i bygg

Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo

Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

GRUPPE NR. 9

TILGJENGELIGHET: Åpen

Telefon: 67 23 50 00

www.oslomet.no

MASTEROPPGAVE

MASTEROPPGAVENS TITTEL Hvordan oppnå lavere soveromstemperaturer i passivhus med varmluft via ventilasjonsanlegget som oppvarmingskilde?	DATO 23/05/2018
	ANTALL SIDER / ANTALL VEDLEGG 77 sider 3 vedlegg
FORFATTERE Julie Flakne Andresen	VEILEDER Arnab Chaudhuri

UTFØRT I SAMMARBEID MED OsloMet - Storbyuniversitet	KONTAKTPERSON Julie Flakne Andresen
--	--

SAMMENDRAG Denne oppgaven omhandler oppvarming via tilluft i passivhusboliger. Fokus har vært å løse problemet med høye soveromstemperaturer ved bruk av temperert tilluft som eneste oppvarmingskilde. En typisk norsk, enetasjes enebolig fra ferdighusprodusenten Mesterhus er bygget opp i simuleringsprogrammet IDA ICE. Huset er plassert i Oslo klima, og er implementert slik at det tilfredsstillt kravene som er satt i den norske passivhusstandarden i tillegg til TEK 17. Ulike strategier for å oppnå en lavere temperatur i soverom er testet gjennom simuleringer.
--

3 STIKKORD
Soveromstemperatur
Passivhus
Varmluftoppvarming

Prosjektbeskrivelse

I dag ser vi et økende behov for å bygge bygg med lavt oppvarmingsbehov og generelt lavt energibruk. Kravene til nye bygg blir stadig strengere, og vi ønsker å oppnå god energieffektivitet. Det mest vanlige i eldre, norske boliger er bruk av radiatorer, varmepumper og elektriske, vegghengte panelovner til oppvarming. Byggebransjen har stilt seg spørsmålet om det faktisk er mulig å unngå bruken av disse kildene til oppvarming av boliger. Lar det seg gjøre å varme opp boligen ved hjelp av temperert tilluft fra det allerede installerte ventilasjonsanlegget? Dette har blitt forsket på, og viser seg å være en fungerende løsning i bygg med en tett bygningskropp og lavt oppvarmingsbehov som i passivhus. Fokuset i forskningen er hovedsakelig termisk komfort til brukerne av bygget. Det er viktig med god omrøring av luften slik at temperaturforskjellene lokalt i rommene ikke blir for stor.

Et hull i forskningen er hvordan man skal utforme anlegget i boliger der brukeren ønsker en lavere temperatur i soverommene om natten enn ellers i boligen. Dette er bakgrunnen for oppgaven og problemstillingen.

I dagens Norge bygges det stadig flere passivhus-boliger. En oppvarmingsløsning er bruk av ventilasjonsanlegget og temperert tilluft. Vi ønsker gjerne en lavere temperatur i soverom enn ellers i boligen. Hvordan kan dette løses når ventilasjonsanlegget brukes til generell oppvarming?

Målet med oppgaven er å finne en god løsning på hvordan man kan skape god termisk komfort i alle boligens rom, og da spesielt soverommene ved bruk av temperert tilluft som eneste oppvarmingskilde.

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved storbyuniversitetet OsloMet våren 2018. Flere problemstillinger studentene kunne velge mellom ble gitt av OsloMet. For meg har faget ventilasjon vært et av de mest interessante i studietiden og problemstillingen jeg valgte faller innenfor dette temaet.

Arbeidet med denne masteroppgaven har vært meget krevende, men samtidig utrolig spennende og lærerikt. Man lærer mye av å dykke dypt inn i et spesifikt tema, og selv om det til tider har vært vanskelig å se enden av tunnelen har det også vært min motivasjon til å ikke gi opp.

Jeg vil takke min interne veileder Arnab Chaudhuri på universitetet for meget god oppfølging og oppmuntring underveis. Peter Schild har også vært behjelpelig med å definere problemstillingen. I tillegg vil jeg takke venner, familie og samboer for all støtte og forståelse jeg har fått dette halve året. Min egen vilje i kombinasjon med deres har vært helt uvurderlig. En ekstra takk til Hilde Tangen for korrekturlesing. Universitetets Habtamu Bayera Madessa fortjener også en takk for hjelpen med programmet IDA ICE.

Julie Flakne Andresen

Oslo, 23 mai 2018

Sammendrag

Denne oppgaven omhandler oppvarming via tilluft i passivhusboliger. Fokus har vært å løse problemet med høye soveromstemperaturer ved bruk av temperert tilluft som eneste oppvarmingskilde.

En typisk norsk, enetasjes enebolig fra ferdighusprodusenten Mesterhus er bygget opp i simuleringprogrammet IDA ICE. Huset er plassert i Oslo klima, og er implementert slik at det tilfredsstiller kravene som er satt i den norske passivhusstandarden i tillegg til TEK 17. Problemet er belyst da det er funnet i tidligere undersøkelser som for eksempel «Ta Hjemmetempen» (Dalen, 2013) at flertallet av den norske befolkningen finner temperaturer mellom 12-18°C som komfortabelt i soverommet om natten. Det viser seg også at beboerne i passivhus tyr til å åpne vinduene om natten. I kombinasjon med tidligere forskning på området er det i denne oppgaven bygget opp hypoteser rundt hvordan problemet med høye temperaturer i soverom potensielt kan bedres.

Et passivhus kjennetegnes med tette konstruksjoner og lave u-verdier. Ideen bak de tette byggene er å dekke det meste av oppvarmingsbehovet via varmetilskudd fra lys, personer og utstyr. I store deler av verden hvor vi opplever et mildere klima, vil ventilasjonsluften dekke resterende oppvarming. I det kalde, norske klimaet derimot, er det vanlig å bruke radiatorer som tilleggsvarme i fyringssesongen. De første simuleringene kartla at de interne varmetilskuddene har stor påvirkning på oppvarmingen av boligen da det ble gjort simuleringer med og uten innvirkning fra disse. Personbelastningen utgjør den største biten av de interne tilskuddene, og viktigheten med å se på en reell personbelastning fremfor den som er presentert i NS 3700 ble belyst.

Gjennom alle simuleringene er det bevisst valgt en uke med store temperaturvariasjoner fra +3°C til -22°C for å se på utetemperaturens påvirkning. Studiet startet med et konvensjonelt CAV ventilasjonssystem med tilluft i soverom og i stue, og avtrekk i våtrom og i kjøkken. Temperaturen på tilluften ble styrt av en sensor i avtrekksluften med et setpunkt på 20°C. Maksimal tilluftstemperatur ble satt til 50°C, og senere senket til 30°C, da det ble avdekket at behovet for 50°C på tilluft ikke var tilstede. Naturlig nok økte temperaturen i soverom om natten, da personbelastningen er størst, noe som ikke er ønskelig. Derfor ble behovet for soning av soverommene fra resten av boligen viktig. For å oppnå dette ble ventilasjonsføringene modifisert med både tilluft og avtrekk i soverom. Dermed ble en lavere soveromstemperatur oppnådd.

Selv om problemstillingen omhandler soverom er også viktigheten av god termisk komfort i stue og andre oppholdsrom tatt i betraktning. Med tanke på dette ble modifiseringer i styringen av tilluftstemperatur gjort. Ved å plassere en temperatursensor i stuen som referanse for tilluftstemperatur ble de operative temperaturene jevnere i oppholdsrommene.

Det ble tidlig i simuleringene kartlagt at problemet er størst i hovedsoverommet som er beregnet for to personer. Her er luftmengden det dobbelte av hva den er i rommene beregnet for kun en person. Fokuset har ligget på å få temperaturen i dette rommet ned til et akseptabelt nivå.

Kombinert med modifikasjonene på styringen av aggregatet ble det gjort simuleringer med nattsinking av temperaturen i hele boligen med gode resultater. Videre ble det lagt inn en timeplan for åpning av vinduer i soverom en time før brukerne skulle legge seg, enda lavere temperaturer ble da oppnådd. Dette kan sammenlignes med det beboerne i disse husene gjør i dag, og som vi ønsker å unngå. Betydningen av åpne vinduer ble belyst når energibruken til de forskjellige løsningene ble kartlagt, og denne uten tvil var mest energikrevende.

Nattsinking ble også simulert i kombinasjon med innføring av et ventilasjonsanlegg med variable luftmengder. Ved å sette inn et VAV anlegg åpnet muligheten for å manipulere luftmengdene seg. Mer luft ble tilført soverommene om natten, og mindre om dagen da rommene ikke var i bruk. Motsatt ble det for de øvrige oppholdsrommene. Dette for å få en lavere grad av oppvarming i soverom om dagen, og nedkjøling i stuen om natten. Denne løsningen gav en marginal forbedring i energibruk kontra CAV løsningen, og lavere temperaturer i soverom.

Abstract

This assignment concerns hot air ventilation heating in passive houses. The focus has been on solving the problem with high bedroom temperatures when using tempered supply air as the heat source.

A typical Norwegian, one-storey, detached house from Mesterhus is built up in IDA ICE, which is a detailed simulation program. The house is intended to be in Oslo climate and is implemented to meet the requirements set in the Norwegian Passive House Standard in addition to TEK 17. The problem is highlighted as the majority of the Norwegian population find temperatures between 12-18°C as comfortable in the bedrooms at night. Surveys show that residents in the passive house open the windows at night. In combination with previous research in the field, hypotheses have been built up around how to potentially improve the problem with high bedroom temperatures.

A passive house is characterized by a dense construction with low u-values. The idea behind these buildings is to cover most of the heating needs via the heat supplements from lights, people and equipment. In other parts of the world where we experience a milder climate, ventilation air will cover the remaining heat demand. In the cold, Norwegian climate, on the other hand, it is common to use radiators as well during the heating season. The first simulations show that the internal heat loads have a major impact on the room temperatures as simulations without these impacts also were completed. The internal gains from people gives the most heat of the three types. The importance of looking into a more realistic load from people compared the ones presented in NS 3700 was therefore highlighted.

Throughout all the simulations, it is deliberately chosen a week of high temperature variations from +3°C to -22°C, to look at the impact from the outside temperature. The case started with a conventional CAV ventilation system with supply air in the bedroom and living room, and extracts from the wet rooms and kitchen. The supply air temperature was controlled by a sensor in the exhaust air with a setpoint of 20°C. Maximum supply air temperature was set to 50°C, and later lowered to 30°C when it was discovered that the need for 50°C was not present. As expected, the bedroom temperatures increased at night, when the internal loads from people are highest, which is not desirable. Therefore, the need for zoning of the bedrooms from the rest of the dwelling became clear. To achieve this, the ventilation lines were modified with both supply air and exhaust in the bedrooms. Thus, a lower bedroom temperature was achieved.

Although the problem concerns the bedrooms, the importance of thermal comfort in the living room and in other recreation rooms is also taken into consideration. Because of this, modifications in the control strategy for the supply air temperatures were made. By placing a temperature sensor in the living room as a reference to the supply air temperature, the operative temperatures became more even in the living rooms.

Early in the simulations, it was discovered that the highest temperatures were present in the master bedroom, which is intended for two people. Here the airflows are twice what they are in the rooms only intended for one person. The focus has been on reducing the temperature in the master bedroom to an acceptable level.

Combined with the modifications to the control strategy of the air-handling unit, simulations were completed with lowering the supply temperature at night for the entire house with good results. Furthermore, a schedule for opening windows in the bedrooms was added an hour before the users were intended to go to bed, where even lower temperatures were achieved. This is comparable to what the residents in these houses do today in, which we want to avoid. The importance of open windows was highlighted when the energy consumption of the different solutions was mapped, and this was undoubtedly the solution consuming the most energy.

Lowering the supply temperature at night was also simulated in combination with the introduction of a ventilation system with variable air volumes. By inserting a VAV plant, one gets the possibility of manipulating the airflows. More air was added to the bedrooms at night, and less during the day when the rooms were not in use, and the other way around for the other recreation rooms. This was to obtain a lower degree of heating in the bedrooms during the day, and cooling in the living room at night. This solution gave a marginal improvement in energy consumption versus the CAV solution, and lower temperatures in the bedrooms.

Innhold

Forord	iv
Sammendrag	v
Abstract	vii
Figurliste.....	xii
Tabelliste	xiv
Forkortelser og uttrykk.....	xv
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling og mål	1
1.3 Begrensninger.....	1
1.4 Oppbygging.....	2
2 Teori	3
2.1 Passivhus	3
2.1.1 Ventilasjon- og oppvarmingsløsninger i norske passivhus	4
2.2 Temperert tilluft	6
2.2.1 Erfaringer med temperert tilluft	6
2.3 Mulige ventilasjonsløsninger	7
2.3.1 CAV (Constant air volume)	8
2.3.2 VAV (Variable air volume) og DCV (Controlled demand ventilation).....	8
2.4 Inneklima og termisk komfort.....	10
2.4.1 Erfaringer og preferanser rundt termisk komfort i soverom	11
2.5 Energibruk.....	12
2.6 Termisk soning	12
3 Hypotese.....	14
4 Metode.....	15
4.1 Simuleringsverktøyet, IDA ICE.....	15

4.2	Mesterhuset Nora	15
4.2.1	Soneinndeling	16
4.2.2	Lokasjon og klima	18
4.2.3	Krav og veiledning fra NS 3700	19
4.2.3.1	Klimaskjerm.....	20
4.2.3.1.1	Yttervegg	20
4.2.3.1.2	Tak	21
4.2.3.1.3	Gulv på grunn	21
4.2.3.2	Innvendige vegger	22
4.2.3.3	Vinduer	22
4.2.4	Ventilasjon	23
4.2.4.1	Luftmengder CAV	23
4.2.4.2	Aggregat.....	27
4.2.4.2.1	Sonetemperatur styrt aggregat	28
4.2.4.3	Nattsinking	28
4.2.4.4	VAV	28
4.2.5	Gulvvarme	29
4.2.6	Interne varmetilskudd.....	29
4.2.6.1	Ingen interne varmetilskudd	30
4.2.6.2	NS 3700 varmetilskudd.....	30
4.2.6.3	Faktisk personbelastning.....	31
4.2.6.3.1	Soverom.....	31
4.2.6.3.2	Oppholdsrom	31
4.2.7	Energibruk.....	31
5	Resultater.....	33
5.1	Brukervaner.....	36
5.2	Introduksjon av avtrekk i soverom.....	37

5.3	Kontrollstrategier	39
5.3.1	Sonetemperatur styrt aggregat fra stue	39
5.3.2	Nattsinking	40
5.3.3	Vinduslufting	42
5.4	CAV vs. VAV	44
5.5	Energibruk	46
6	Diskusjon	50
7	Konklusjon	54
7.1	Forslag til videre arbeid	55
8	Referanser	57
9	Vedlegg	59

Figurliste

Figur 1: Prinsipptegning av balansert ventilasjonsanlegg i enebolig hentet fra (SINTEF Byggforsk, 2015).....	5
Figur 2: Prinsipptegning av balansert ventilasjon på romnivå hentet fra (SINTEF Byggforsk, 2015).....	6
Figur 3: Luftmengder for CAV anlegg.	8
Figur 4: Luftmengder for VAV anlegg.	9
Figur 5: Luftmengder for DCV anlegg.	10
Figur 6: Illustrasjon av mesterhuset Nora. (Mesterhus, u.d.).....	15
Figur 7: Fasader mesterhuset Nora (Mesterhus, u.d.)	16
Figur 8: Illustrasjon av mesterhuset Nora, implementert i IDA ICE.	16
Figur 9: Rominndeling mesterhuset Nora (Mesterhus, u.d.).....	17
Figur 10: Utetemperatur fra 15.01.2018 til 22.01.2018.	19
Figur 11: Yttervegg implementert i IDA ICE (SINTEF Byggforsk, 2012).	21
Figur 12: Gulv på grunn implementert i IDA ICE (SINTEF Byggforsk, 2012).....	22
Figur 13: Skisse av tilluft og avtrekk.	25
Figur 14: Skisse av tilluft og avtrekk ved soning av soverom.	26
Figur 15: Returtemperatur styrt aggregat.	27
Figur 16: Sonetemperatur styrt aggregat.	28
Figur 17: Operativ temperatur forskjellige rom uten interne varmetilskudd.	33
Figur 18: Utetemperatur, tilluftstemperatur og returtemperatur for aggregat.....	34
Figur 19: Operativ temperatur forskjellige rom med interne varmetilskudd.	35
Figur 20: Utetemperatur, tilluftstemperatur og returtemperatur for aggregat med interne varmetilskudd.	35
Figur 21: Operativ temperatur forskjellige rom ved senket maksimal tilluftstemperatur.....	36
Figur 22: Operativ temperatur forskjellige rom ved faktisk personbelastning.	36
Figur 23: Utetemperatur, tilluftstemperatur og returtemperatur for aggregat med faktisk personbelastning.....	37
Figur 24: Operativ temperatur etter introduksjon av avtrekk i soverommene.	38
Figur 25: Utetemperatur, tilluftstemperatur og returtemperatur for aggregat etter introduksjon av avtrekk i soverommene.....	38
Figur 26: Operativ temperatur i de tre rommene med sonestyrte tilluftstemperatur.	39

Figur 27: Utetemperatur, tilluftstemperatur og returtemperatur for aggregat med sonestyrte tilluftstemperatur.	40
Figur 28: Operativ temperatur forskjellige rom ved nattsinking.	41
Figur 29: Utetemperatur, tilluftstemperatur og returtemperatur for aggregat med nattsinking.	41
Figur 30: Temperaturer i soverom mot sør før og etter introduksjon av nattsinking.	42
Figur 31: Operativ temperatur forskjellige rom med nattsinking og vinduslufting.	43
Figur 32: Utetemperatur, tilluftstemperatur og returtemperatur for aggregat med vinduslufting.	43
Figur 33: Operativ temperatur forskjellige rom med variabel luftmengde.	45
Figur 34: Utetemperatur, tilluftstemperatur og returtemperatur for aggregat med variabel luftmengde.	45
Figur 35: Operativ temperatur forskjellige rom med variabel luftmengde og maks temp på 40°C.	46
Figur 36: Utetemperatur, tilluftstemperatur og returtemperatur for aggregat med variabel luftmengde og maks temp på 40°C.	46
Figur 37: Netto energibehov til romoppvarming.	47
Figur 38: Energifordeling soverom mot sør ved statisk utetemperatur på -20°C over 24 timer.	48

Tabelliste

Tabell 1: Soneinndeling og areal.....	18
Tabell 2: Krav fra NS 3700 (Standard Norge, 2013)	20
Tabell 3: Krav til avtrekk i våtrom og i kjøkken.....	23
Tabell 4: Luftmengder.....	24
Tabell 5: Luftmengder ved soning av soverommene.	26
Tabell 6: Minimum og maksimum luftmengder VAV.....	29
Tabell 7: Interne varmetilskudd.	30

Forkortelser og uttrykk

U-verdi	Varmegjennomgangskoeffesient
MET	Menneskelig aktivitetsnivå
CAV	«constant air volume» konstant luftvolum
VAV	«variable air volume» variabel luftmengde
DCV	«demand control ventilation» behovsstyrt ventilasjon
SFP	«Specific fan power» spesifikk vifteeffekt
LCC	«life cycle cost» livssyklus kostnad
PMV	«predicted mean vote» forventet middelvurdering
PPD	«predicted percentage of dissatisfied» forventet prosentdel av misfornøyde

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

I dag ser vi et økende behov for å bygge bygg med lavt oppvarmingsbehov og generelt lavt energibruk. Kravene til nye bygg blir stadig strengere, og vi ønsker å oppnå god energieffektivitet. Det mest vanlige i eldre, norske boliger er bruk av radiatorer, varmepumper og elektriske, vegghengte panelovner til oppvarming. Byggebransjen har stilt seg spørsmålet om det faktisk er mulig å unngå bruken av disse kildene til oppvarming av boliger. Lar det seg gjøre å varme opp boligen ved hjelp av temperert tilluft fra det allerede installerte ventilasjonsanlegget? Dette har blitt forsket på, og viser seg å være en fungerende løsning i bygg med en tett bygningskropp og lavt oppvarmingsbehov som i passivhus. Fokuset i forskningen er hovedsakelig termisk komfort til brukerne av bygget. Det er viktig med god omrøring av luften slik at temperaturforskjellene lokalt i rommene ikke blir for stor.

Et hull i forskningen er hvordan man skal utforme anlegget i boliger der brukeren ønsker en lavere temperatur i soverom om natten enn ellers i boligen. Dette er bakgrunnen for oppgaven og problemstillingen.

1.2 Problemstilling og mål

I dagens Norge bygges det stadig flere passivhus-boliger. En oppvarmingsløsning er bruk av ventilasjonsanlegget og temperert tilluft. Vi ønsker gjerne en lavere temperatur i soverom enn ellers i boligen. Hvordan kan dette løses når ventilasjonen brukes til generell oppvarming?

Målet med oppgaven er å finne en god løsning på hvordan man kan skape god termisk komfort i alle boligens rom, og da spesielt soverommene, ved bruk av temperert tilluft som eneste oppvarmingskilde.

1.3 Begrensninger

Ved bruk av simuleringsprogram følger det begrensninger i forhold til oppgaven. Den implementerte boligen er gjort så realistisk som mulig i programmet. Likevel kan ikke alle

virkelige forhold gjøres om til teori. I og med at virkeligheten har såpass mange variabler vil det aldri være 100% likt i et simuleringsprogram.

1.4 Oppbygging

Oppgaven har et tradisjonelt oppsett som starter med en kombinert teori og litteraturstudie i kapittel to. Her presenteres deler av tidligere arbeid som kan forbindes med temaet i denne oppgaven, i tillegg til generell teori om ulike ventilasjonsløsninger. Med bakgrunn i kapittel to presenteres det hypoteser i kapittel tre som grunnlag for de neste kapitlene. Deretter følger metodekapittelet som tar for seg det implementerte huset og simuleringsprogrammet som er brukt. Fremgangsmåten og metodene er også presentert i metodekapittelet. Resultatene fra simuleringene er deretter presentert i kapittel fem. Til slutt er resultatene diskutert og konkludert i kapittel seks og syv.

2 Teori

Gjennom høyskolen gis det tilgang til søkemotorer for databaser som Science direct (B.V., u.d.). Denne har blitt brukt til å søke opp relevant informasjon rundt temaet. Google scholar (Google, Google Scholar, u.d.) og Google (Google, Google, u.d.) har også blitt brukt til søk.

Det er mye informasjon der ute, og det er viktig å plukke ut artikler og «papers» som kan brukes. En god blanding av studier, artikler, standarder og masteroppgaver er benyttet, og ved noen tilfeller har kildehenvisningene hjulpet meg til å finne mer relevant informasjon. Tre av søkeordene som har blitt brukt er:

- Varmluftsoppvarming i boliger
- Ventilasjonsoppvarming
- Hot air ventilation

2.1 Passivhus

Vi ønsker hele tiden å redusere energibehovet til våre bygg. Vi har i lang tid bygget passivhus uten å definere hva det egentlig er. Instituttet for passivhus i Tyskland ble grunnlagt i 1996 av Dr. Wolfgang Feist. Her defineres et passivhus som «et bygg der termisk komfort kan oppnås utelukkende ved hjelp av oppvarming og nedkjøling av den friske luften vi tilfører bygget via ventilasjonsanlegget for å oppnå god luftkvalitet». (Passive House Institute, u.d.) Denne definisjonen skal gjelde for alle klimaer. Konseptet går ut på å konstruere lufttette bygg med god isolasjon og energieffektive vinduer. I tillegg ønsker vi ingen kuldebroer i konstruksjonen, og varmeveksleren må ha høy virkningsgrad. Disse tiltakene gjør at varmetapet blir mindre, og kan dekkes kun ved hjelp av interne varmekilder fra utstyr, lys og personer i tillegg til ventilasjon.

Norge har utviklet sin egen standard som skal følges ved planlegging og bygging av passivhus i tillegg til TEK. Vi har en standard for boligbygg, NS 3700 (Standard Norge, 2013) og en for yrkesbygg, NS 3701 (Standard Norge, 2012). Disse standardene tar hensyn til klimaet vi har i Norge og konstruksjonsløsningene vi bruker, og inneholder krav til bygg som skal defineres som passivhus. Kravene som blir stilt er blant annet varmetapstall til transmisjon og infiltrasjon, u-verdier til vinduer og dører, kuldebroverdier, virkningsgrad for varmegjenvinner, SFP og lekkasjetall. I boligbygg skal også termisk komfort oppnås kun ved bruk av lokalt klima og eventuell skjerming, uten bruk av mekanisk kjøling. Energi fra elektrisitet og fossilt brensel

skal være mindre enn det totale energibehovet til boligen, fratrukket 50% av energibehovet til varmtvann, vist i likningen under:

$$E_{el} + E_{fossil} < E_{tot} - 0,5Q_w$$

Der

E_{el} er energi fra elektrisitet

E_{fossil} er energi fra fossilt brensel

E_{tot} er årlig netto energibehov

Q_w er energibehov til oppvarming av tappevann.

Oppvarmingsbehovet til boligen skal ifølge standarden beregnes etter lokalt klima der boligen oppføres. Dette bestemmes ut fra årsmiddeltemperatur på det aktuelle stedet og boligens oppvarmede del av BRA. Årsmiddeltemperaturen varierer over hele landet. For småhus mindre enn 250m² og for årsmiddeltemperatur under 6,3°C som den vi finner i Oslo, brukes følgende formel:

$$15 + 5,4 \times \frac{(250 - A_{fl})}{100} + (2,1 + 0,59 \times \frac{(250 - A_{fl})}{100}) \times (6,3 - \theta_{ym})$$

Der

A_{fl} er oppvarmet del av BRA til boligen

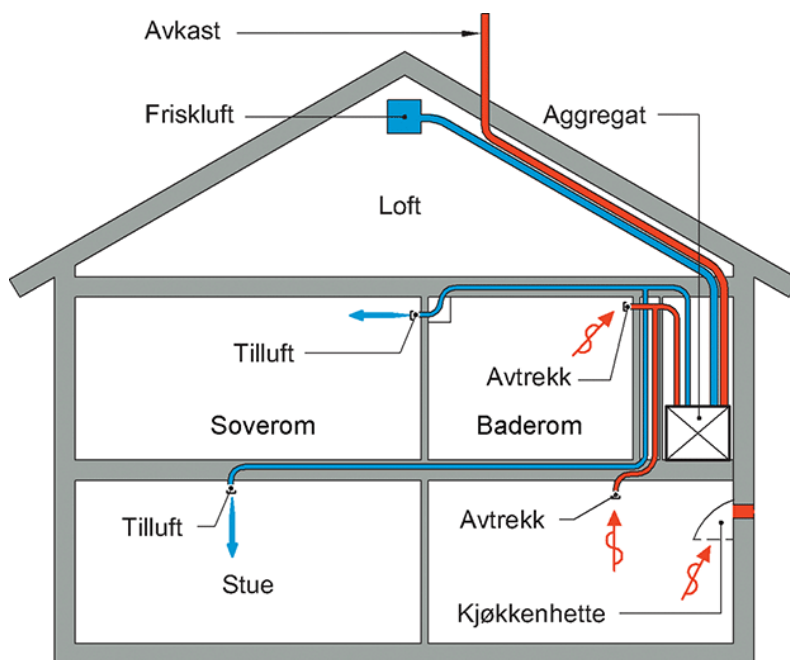
θ_{ym} er årsmiddeltemperatur på det aktuelle stedet.

2.1.1 Ventilasjon- og oppvarmingsløsninger i norske passivhus

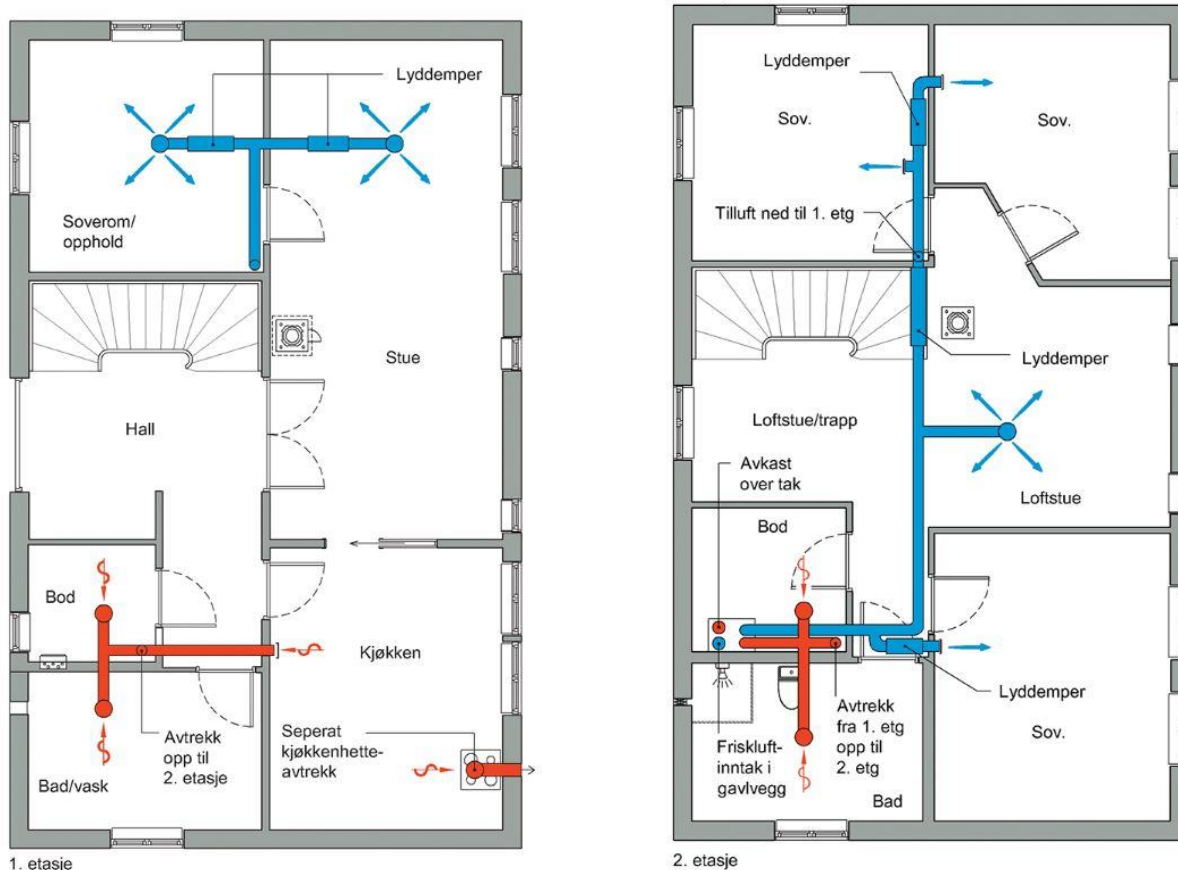
Den norske passivhusstandarden gjenspeiler definisjonen presentert i 2.1. Likevel setter den ingen krav til å kun bruke ventilasjonsanlegget til oppvarming. Grunnen til dette er at vi i Norge har et klima med tidvis kalde perioder i store deler av landet. Det mest vanlige er å ha et balansert ventilasjonsanlegg og supplere oppvarmingen med lavtemperatur radiatoranlegg i oppholdssonene, som stue og kjøkken, i tillegg til gulvvarme i bad.

I småhus som eneboliger og rekkehus opereres det med desentraliserte anlegg. Dette er anlegg med et aggregat per boenhet. I følge Byggforsk, (SINTEF Byggforsk, 2017) er hovedfunksjonene til ventilasjonsanlegget å sikre tilfredsstillende luftkvalitet for brukerne av

bygget, samt begrense luftfuktigheten i bygget, slik at vi hindrer kondens og fuktskader på overflater og inne i konstruksjonen. Det stilles særskilte krav til de forskjellige rommene i boligen når det kommer til luftmengder som skal tilføres og trekkes ut. Derfor utformes anlegget best ved å ha tilluft i soverom og i stue, og avtrekk i bad, i kjøkken og i boder. Luftstrømmene vil da naturlig transporteres gjennom spalter under dørene eller via såkalte overluftsventiler. Et eksempel på utforming av et balansert anlegg er vist i figur 1 og 2.



Figur 1: Prinsipp tegning av balansert ventilasjonsanlegg i enebolig hentet fra (SINTEF Byggforsk, 2015).



Figur 2: Prinsipptegning av balansert ventilasjon på romnivå hentet fra (SINTEF Byggforsk, 2015).

2.2 Temperert tilluft

2.2.1 Erfaringer med temperert tilluft

Flere studier viser at bruk av temperert ventilasjonsluft til oppvarming av bygg fungerer godt.

SINTEF hadde et prosjekt i perioden 2013-2015 ved navn ForKlima. I dette prosjektet ble det sett på forenklet, behovsstyrt klimatisering av Miljøhuset GK med svært lavt oppvarmingsbehov. Rapporten SINTEF fag 38 oppvarming via tilluft, (Thunselle, 2016) er utarbeidet i forbindelse med prosjektet. Det ble da konstatert at man ved hjelp av temperert tilluft kan dekke oppvarmingsbehovet i kontorbygg. Prosjektet gjennomførte studier der de spurte brukerne om opplevd inneklime ved forskjellige driftsstrategier og temperaturer. Faktiske temperaturer ble målt parallelt med dette. Simuleringer, labforsøk og enkelte beregninger har blitt gjort for å simulere de kaldeste dagene med høy overtemperatur. Basert på resultatene har de gjort anbefalinger.

Rapporten forklarer at det har vært forsøkt brukt oppvarming via tilluft tidlig på 80-tallet uten hell. Grunnen til dette er dårlig isolerte bygg der oppvarmingsbehovet er stort og tilluftstemperaturen ville blitt for høy med tanke på kortslutning, strålingsvarme mot hodet og generell fare for strålingsasymetri. Med dagens passivhus har vi et mye bedre isolert bygg, og kan dermed redusere overtemperaturen betydelig. I tillegg påpekes det at behovsstyrte anlegg er mer brukt enn tidligere. Dette gjør at vi kan tilføre den samme effekten ved lav temperatur og høyere luftmengde som ved lav luftmengde og høyere temperatur. For at brukeren skal oppnå god termisk komfort er det noen krav som må oppfylles. Yrkes- og kontorbygg vil ha andre krav enn boligbygg, men samtidig mange like der det fokuseres på kald stråling, temperaturer fra ulike flater, og at temperaturen over høyden i rommet må være jevn. Riktig valg av ventil er også vesentlig for å få tilstrekkelig omrøring.

2.3 Mulige ventilasjonsløsninger

Illustrasjonene i figur 1 og 2 er en veiledning til hvordan ventilasjonsanlegget er utformet på en fornuftig måte i boliger. Likevel er det åpent for andre alternativer. Studier som Selvnes, (Selvnes, 2017) påpeker at en høyere grad av temperatursoning vil være en mulig løsning for å redusere temperaturen i soverom i passivhus. Temperatursoning i soverom kan tas til neste steg hvis man introduserer både tilluft og avtrekk i hvert enkelt soverom. Dette vil i høyere grad skille soveromsklimaet fra resten av huset, hvis dørene holdes lukket. Ved å introdusere en slik løsning vil man trenge ekstra tilluft i rom man ellers ikke ville hatt dette i, for å tilfredsstille kravet til balansert ventilasjon.

Et annet studie av Berge et.al. (Magnar Berge, 2016) undersøkte mulighetene for å lede noe av luften utenom varmebatteriet, og kun gjennom varmeveksleren. Dette har blitt gjennomført i et hus i Østerrike der temperaturen i praksis ble senket med 1K i soverommene i forhold til resten av huset.

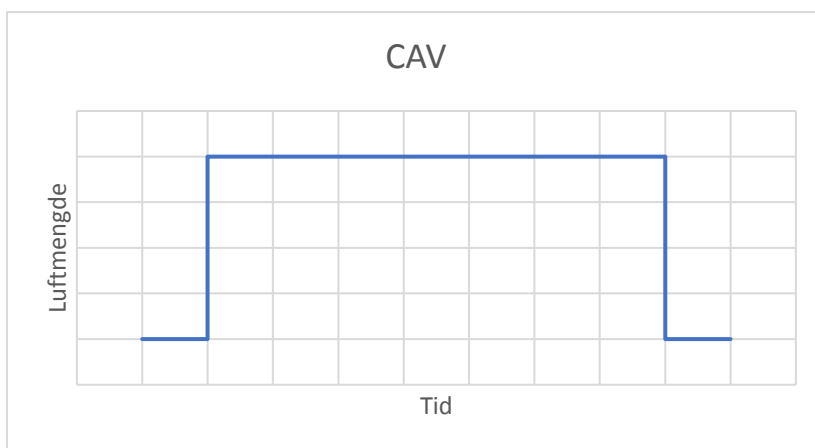
I en studie gjennomført av Holte, (Holte, 2013) ble det gjennomført faktiske målinger i tre passivhus i rekke i Trondheim der det ene ble manipulert med overtemperert tilluft med nattsinking. Her ble det i tillegg installert et elektrisk varmebatteri i aggregatet, som skulle stå for den ekstra oppvarmingen av luften. Det ble gjort målinger på forskjellige plasser i rommene for å se på de termiske forholdene. Her er det brukt en standard utforming av kanalene. Nattsinkingen vil bidra til å skape en lavere temperatur, ikke bare i soverommene, men også i resten av huset om natten. Det ble kartlagt at brukerne mente at temperaturen i resten av huset

om morgenen var noe kald, men at temperaturen i soverommene var tilfredsstillende og behagelige.

Noe som ikke er undersøkt er bruk av et VAV system i boligene. Kan man ved kombinasjon av nattsinking og lavere luftmengder i oppholdsrom om dagen og soverom om natten oppnå et bedre resultat?

2.3.1 CAV (Constant air volume)

Bygninger kan ha forskjellige typer ventilasjonsløsninger. Den billigste og mest brukte løsningen for boliger er CAV ventilasjon. I et CAV anlegg har man ikke mulighet til å manipulere luftmengdene etter bruken av rommet. I stedet starter anlegget ved hjelp av et ur og holder deretter konstant luftmengde gjennom dagen, uavhengig av bruk, (Ingebrigtsen, Ventilasjonsteknikk Del 2, 2016). Fordelene med en slik løsning er lave installasjonskostnader og enkel styring. På annen side kan det føre til større energiforbruk da den samme luftmengden tilføres uansett brukervaner og tid på døgnet, (Exhausto, u.d.). CAV anlegg brukes typisk der man har et jevnt behov for ventilasjon og mindre variasjoner i person- og varmebelastning, noe som er typisk for boliger der det bor et visst antall mennesker. Hvordan luftmengden endrer seg i et CAV anlegg er illustrert i figur 3.

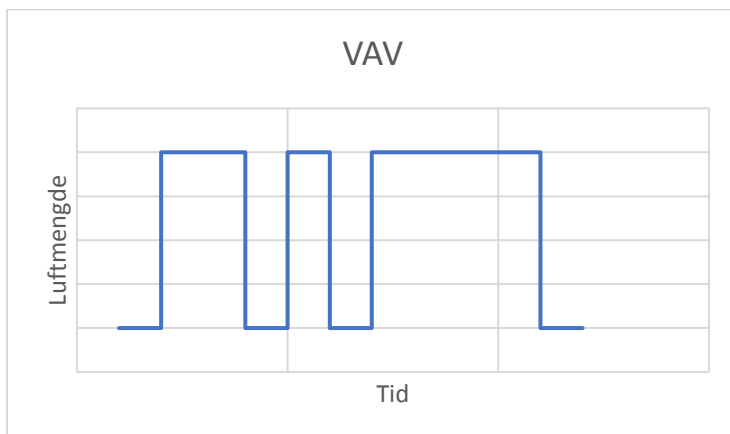


Figur 3: Luftmengder for CAV anlegg.

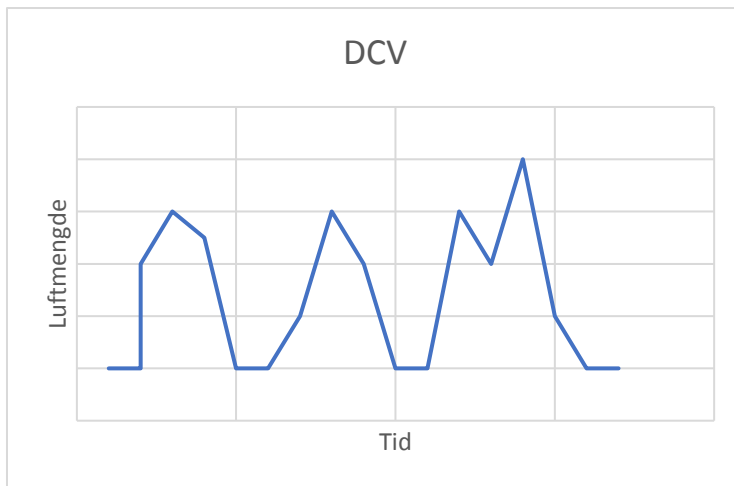
2.3.2 VAV (Variable air volume) og DCV (Controlled demand ventilation)

Installering av et anlegg med variable luftmengder er en potensielt god løsning. VAV er fellesbetegnelsen på alle anlegg der man kan variere luftmengden. Uavhengig av hvordan det gjøres. (Ingebrigtsen, Ventilasjonsteknikk Del 2, 2016). Man kan ha et ur, en bryter eller en

bevegelsessensor som styrer når anlegget skal slås av eller på. Alternativt kan man programmere inn en ukeplan som angir til hvilket tidspunkt rommene er i bruk og ikke. Denne ukeplanen kan oppdateres i samsvar med endringer i brukermønsteret til boligen. I et slikt anlegg er det programmert inn en minimums- og maksimumsluftmengde for alle rom. Fordelene med et slikt anlegg er at det er ventilasjon kun i rommene som brukes. Det tar på en annen side ikke hensyn til antall personer som befinner seg i rommet til enhver tid, (Exhausto, u.d.). I boliger vil det som beskrevet i forrige kapittel som regel være omtrent samme antall personer i rommet når det er i bruk, og behovet for et DCV anlegg vil ikke være tilstede. Et DCV anlegg er VAV, men luftmengdene i DCV er hele tiden tilpasset både antall personer og generell bruk av rommet. Dette gjøres ved bruk av CO₂ eller temperatursensorer i rommene. En kombinasjon av disse brukes også. Den minste luftmengden som tilføres bestemmes av emisjonen fra materialene som befinner seg i rommet, og den maksimale luftmengden bestemmes etter hvor mange personer rommet på det meste er dimensjonert for. Hvordan luftmengdene endrer seg i hhv. VAV- og DCV anlegg er vist i figur 4 og 5.



Figur 4: Luftmengder for VAV anlegg.



Figur 5: Luftmengder for DCV anlegg.

2.4 Inneklima og termisk komfort

Begrepet inneklima består i all hovedsak av fem faktorer som sammen skaper betegnelsen for et godt eller dårlig inneklima. Disse er atmosfærisk miljø, termisk miljø, akustisk miljø, mekanisk miljø og akustisk miljø. I denne oppgaven fokuseres det på atmosfæriske og termiske miljøet, (Ingebrigtsen, Ventilasjonsteknikk del 1, 2016). Gjennom lover og forskrifter settes det krav til inneklima i norske bygg. I kapittel 13 i veiledningen til TEK 17 (Direktoratet for byggkvalitet, 2017) settes det blant annet generelle krav til ventilasjonsanleggets luftmengder og til termiske inneklima. Veiledningen til TEK henviser til NS-EN 15251 (Norsk Standard, 2014) som setter krav til ulike inneklimaparametere ved å beregne energibruken til bygg. Man ønsker å unngå reduksjon i energibruk hvis dette går på bekostning av inneklima. Denne standarden oppgir ikke kriterier for vertikal temperaturgradient, trekk eller asymmetrisk stråling. Disse kriteriene er oppgitt i NS-ISO 7730 (Standard Norge, 2005). Her finner vi formel og beregningsmetoder for å finne PMV- og PPD indeks, diverse diagrammer for å finne den anbefalte operative temperaturen og krav for parametere som er viktige for å holde en viss inneklimakategori inndelt fra A til C der A er strengest og C mildest.

Menneskekroppen streber hele tiden etter å opprettholde en temperatur på 37°C . For å oppnå dette har den metoder for å regulere temperaturen når det blir for kaldt eller for varmt. Varmen fra kroppen produseres og ledes vekk i form av konveksjon til omgivelsene og stråling til omgivende flater. Denne strålingen og konveksjonen står hver for omtrent 40% og de resterende 20% går med til utånding. Det er flere faktorer som påvirker hva vi mennesker opplever som behagelig. Disse faktorene er:

- Strålingstemperatur
- Lufttemperatur
- Relativ fuktighet
- Lufthastighet
- Bekledning
- Aktivitetsnivå

Vårt aktivitetsnivå eller metabolisme måles i enheten met. En MET er det samme som 58W/m^2 . En MET er aktivitetsnivået til en stillesittende og avslappet person. For en liggende person er aktivitetsnivået 0,7-0,8 MET. Bekledningen til personen er også en viktig faktor å ta med der varmeledningsmotstanden til klærne (isolansen) blir tatt hensyn til. Måleenheten som blir brukt for bekledning er clo. En clo er det samme som $0,155\text{m}^2\text{K/W}$. 0 clo tilsvarer en person uten klær. Man har blant annet komfortlikningen og diverse komfortdiagrammer for å fastslå hvor mennesket vil oppnå termisk nøytralitet, noe som ikke beskrives nærmere her. Det er likevel forskjell fra person til person hva som føles komfortabelt og ikke. Den danske professoren P.O.Fanger satte opp en indeks i 1970 som er ment til å evaluere avvik fra den ideelle komforttilstanden. Indeksene PMV og PPD. PMV er forkortelsen for predicted mean vote og denne indeksen er basert på eksperimenter der et antall personer har blitt spurt om opplevd termisk innelima. PMV baserer seg på en syv punkts skala fra, +3 til -3, der den ideelle PMV er 0 og de to ytterpunktene er hhv meget varm og meget kald. PPD er forkortelsen på «predicted percentage of dissatisfied» og uttrykker hvor mange misfornøyde personer det vil være i en større forsamling. Som skrevet tidligere er vi mennesker forskjellige, og det vil derfor alltid oppstå avvik selv om PMV er null. Man kan beregne PPD ut fra PMV indeksen. Tabeller og diagrammer for både PMV og PPD kan hentes og benyttes ut ifra forskjellige tilstander fra NS-ISO 7730 (Standard Norge, 2005). (Ingebrigtsen, Ventilasjonsteknikk del 1, 2016).

2.4.1 Erfaringer og preferanser rundt termisk komfort i soverom

Som nevnt i kapittel 2.4 er personlige preferanser en viktig faktor når det kommer til termisk komfort inne. Enkelte ønsker meget kalde soverom, andre ønsker en høyere temperatur når de skal sove. Likevel viser studier at nordmenn generelt ønsker en lavere temperatur i soverom om natten. En norsk studie «Ta hjemmetempen» (Dalen, 2013) har undersøkt temperaturer i hjemmene til norske barnefamilier. Resultater fra studiet viser at gjennomsnittstemperaturen i de voksnes soverom er $18,9^{\circ}\text{C}$ om morgenen og $19,3^{\circ}\text{C}$ om kvelden. I barnerommene ligger

temperaturerne graden over både morgen og kveld. Andelen av familier som har det kaldere enn dette i soverommene sine er også større enn de som har det varmere. I § 13-4 i TEK 17 står det at temperaturen ved lett arbeid bør ligge mellom 19-26 grader, og derav enda høyere ved hvilende tilstand. Grunnen til at vi likevel ønsker lavere temperaturer når vi sover kan være at vi om vinteren gjerne har tykke dyner som isolerer godt, og det blir derfor for varmt hvis romtemperaturen i tillegg er høy.

Ved å bruke PMV-indeksen i NS-ISO 7730 (Standard Norge, 2005) finner vi at komforttemperaturen vil ligge rundt 12-18⁰C med vinterdyner og 20-22⁰C med sommerdyner. En interessant hypotese vil være å gjennomføre undersøkelser dersom vi bytter ut de tykke vinterdynene våre med tynnere sommerdyner. Vil det fortsatt være misnøye rundt soveromstemperatur til brukerne i passivhus?

2.5 Energibruk

Som nevnt i kapittel 2.1 er det viktig å kartlegge energibruken til bygningen for at det skal kunne kvalifisere til passivhus. Kravet til energibruk for oppvarming bestemmes ut fra lokalt klima. I tabell 3 i NS 3700 (Standard Norge, 2013) gis det formler for utregning av oppvarmingsbehovet til passivhus. Det skilles mellom områder der årsmiddeltemperatur er høyere eller lik 6,3⁰C og der den er lavere enn 6,3⁰C. I tillegg tas det hensyn til arealet av boligen der det skilles mellom boliger mindre enn 250m² og større eller lik 250m².

Generelt er passivhus utformet slik at energibehovet til romoppvarming skal være meget lavt sammenlignet med eldre og tradisjonelle boliger. Det er likevel en faktor som bør påpekes når det kommer til energibruk. Dette er temperaturen innendørs. Som nevnt tidligere har vi mennesker forskjellige preferanser når det kommer til komfort innendørs. Noen ønsker en høyere lufttemperatur enn andre, og dette vil gjøre utslag på energibruken.

2.6 Termisk soning

En gjennomført studie, (Magnar Berge, 2016) påpeker at det kan oppnås en bedre termisk soning av soverommene ved å isolere de innvendige veggene. Dette gjelder spesielt hvis vi velger å unngå å føre noe av luften gjennom varmebatteriet i aggregatet som går til soverommene. Ved bedre isolering av innerveggene til soverommene, samt å holde dørene lukket om natten vil varmegjennomgang i veggene reduseres.

Dette vil minke energibehovet til oppvarming da det er to ønskede temperaturer i huset. I tillegg vil varmen i resten av boligen vil kunne holde ønsket temperatur uten å tape for mye av varmen til soverommene.

I Norge i dag er det vanlig å isolere innvendige vegger til en viss grad. I studiet, (Selvnes, 2017) påpekes det at man ikke nødvendigvis oppnår et bedre resultat hvis veggene isoleres i for høy grad, men den termiske tregheten til konstruksjonen er også med på å påvirke soveromstemperaturene.

3 Hypotese

Ved å se på tidligere studier og strategier som gjennomgått i kapittel 2 finner vi flere grunner til at soveromstemperaturen oppleves for høy av brukere i passivhus som benytter romoppvarming via tilluft.

På grunn av høy soveromstemperatur blir vinduene åpnet for å holde en lavere temperatur. Dette resulterer i en «fyre for kråka» situasjon som ikke er ønskelig.

Det er behov for å kartlegge hva man kan gjøre for å løse problemet. Hypotesene er som følger:

1. En ugunstig utforming av kanalene i anlegget som ikke gir rom for soning av forskjellige rom i boligen. Det kan introduseres både tilluft og avtrekk i soverom for å oppnå en høyere grad av temperatursoning fra resten av bygget.
2. Forskjellig typer kontrollstrategier for styring av luften som blir tilført og trukket ut av rommene kan utgjøre store forskjeller for hvilke temperaturer som oppnås i de ulike rommene. Man kan blant annet styre tilluftstemperaturen ved en temperatursensor i et av rommene eller bruke avtrekksluften som referanse. I tillegg kan man innføre forskjellige timeplaner for hvilken temperatur luften skal ha på forskjellige tider av døgnet.
3. Forskjeller i brukervaner og ønskelig temperatur i soverom. Det er vanskelig å skape en løsning som passer for alle brukere enten det kommer til temperatur eller om de skal ha vinduer og dører lukket eller ikke.
4. Bruk av tradisjonelle CAV anlegg som ikke gir rom for å manipulere luftmengdene i de forskjellige rommene til forskjellige tider av døgnet. VAV anlegg der man kan variere luftmengdene i rommene til forskjellige tider av døgnet kan potensielt bli benyttet.

Gjennom simuleringer vil hypotesene bli testet og diskutert.

4 Metode

4.1 Simuleringsverktøyet, IDA ICE

I denne oppgaven er det valgt å bruke simuleringsverktøyet IDA ICE 4.7 (IDA Indoor Climate and Energy). Dette er et detaljert og dynamisk multi sone simuleringsprogram som brukes til å studere blant annet energibruk og inneklime i bygg. Programmet er utviklet av det svenske selskapet EQUA Simulations AB. Det er et internasjonalt anerkjent program og brukes av flere store selskap, som for eksempel SIEMENS, Norconsult og SWECO. Programmet er utformet til å brukes for både enkle og komplekse bygg, og benytter likningsbasert modellering som baserer seg på Neutral Model Format (NMF) (AB, u.d.). Man kan logge alle variabler som gir god mulighet til å se på blant annet temperaturer, CO₂ – konsentrasjoner og andre viktige variabler.

4.2 Mesterhuset Nora

Eneboliger utgjør en stor andel av bebyggelsen i Norge. Det er i denne oppgaven valgt å implementere et ferdighus fra Mesterhus i IDA ICE. Huset er et typisk norsk hjem med konstruksjon av tre og vinkeltak. Det er et hus der alt er plassert på en etasje, og det totale arealet er på 133m². Figur 6 og 7 er illustrasjoner hentet fra Mesterhus.

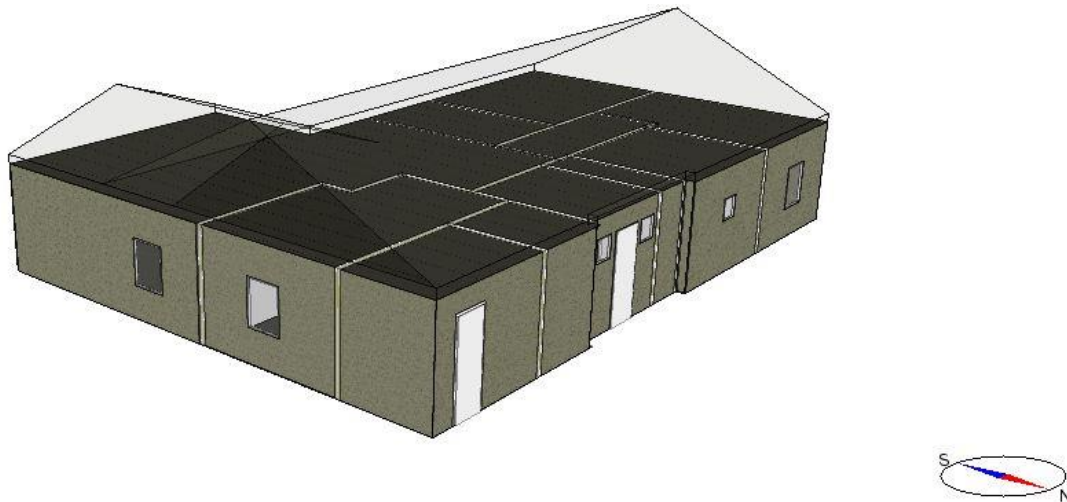


Figur 6: Illustrasjon av mesterhuset Nora. (Mesterhus, u.d.)



Figur 7: Fasader mesterhuset Nora (Mesterhus, u.d.)

Ved hjelp av plantegningene fra Mesterhus har huset blitt implementert og tegnet i IDA ICE. En illustrasjon av huset fra IDA ICE er vist i figur 8.



Figur 8: Illustrasjon av mesterhuset Nora, implementert i IDA ICE.

4.2.1 Soneinndeling

Soneinndelingen tar utgangspunkt i rominndelingen av huset som vist i figur 9.



Figur 9: Rominndeling mesterhuset Nora (Mesterhus, u.d.)

Hvert rom representerer en egen sone. Takhøyden er satt til 2.4m. Modellen består av til sammen 11 soner som er presentert i tabell 1, med tilhørende areal slik det er blitt implementert i IDA modellen.

Tabell 1: Soneinndeling og areal

Sone	Areal m²
Soverom 1	16.2
Soverom 2	13.5
Soverom 3	8.1
Gang	5.85
Bad	9
Entre	6.2
Vaskerom	5.95
WC	2.2
Bod	3.44
Kjøkken	14.5
Stue	47.7

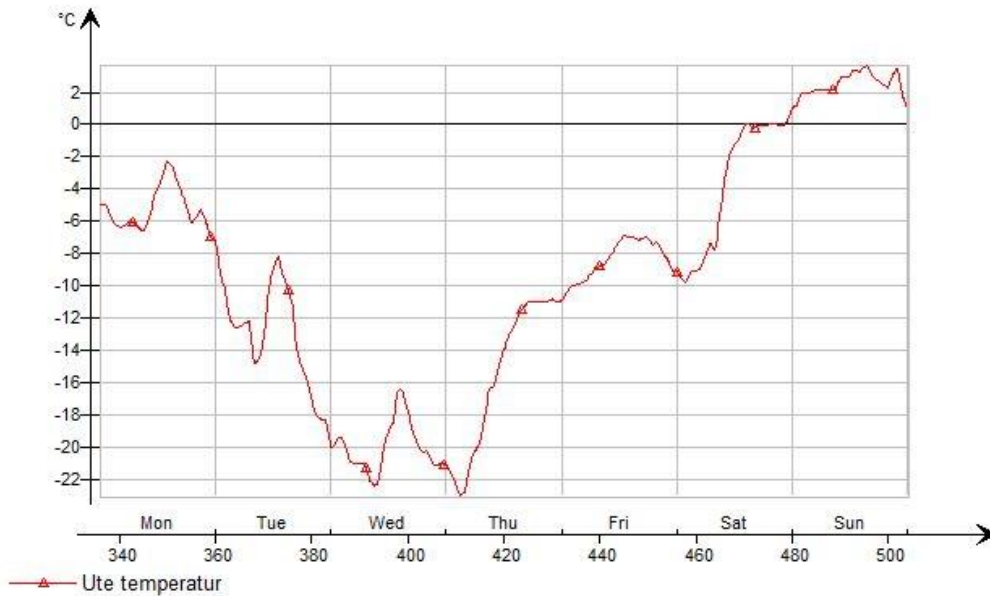
4.2.2 Lokasjon og klima

Huset er valgt plassert i Oslo klima. IDA ICE databasen henter klimadata fra ASHRAE IWEC 2 filer. Disse filene er typiske værfiler for flere steder omkring i verden og er hentet fra lokale værstasjoner. Filene inneholder timebaserte verdier for blant annet utetemperatur, relativ fuktighet, stråling, vindhastighet og skydekke.

Både lokasjon og klimafil er satt til Oslo, Gardermoen.

Selv om klimafilen inneholder vindhastighet vil denne ikke være den samme på hus plassert i byen kontra på landet. På landet vil det være færre hindringer for vinden, mens i byen vil andre hus og bygninger fjerne noe av vinden. Valgt vindprofil for dette studiet er «suburban» som representerer en forstad før man kommer inn til byen.

I simuleringene er det ønskelig å finne en uke som representerer meget kalde dager og i tillegg har store variasjoner i temperatur. Dette for å se hvordan romtemperaturene forandrer seg med utetemperaturen. I alle simuleringene er uken fra 15.01.2018 til 21.01.2018 brukt. Figur 10 viser utetemperaturene denne uken.



Figur 10: Ute temperatur fra 15.01.2018 til 22.01.2018.

4.2.3 Krav og veiledning fra NS 3700

Det er kun utformingen av huset med tilhørende rominndeling som er hentet fra Mesterhus. Annen dokumentasjon er brukt for valg av materialer til klimaskjerm, tak, vegger, vinduer og dører.

I NS 3700 (Standard Norge, 2013) settes det ingen spesifikke krav til u-verdier på vegger, tak og gulv. Huset skal i all hovedsak oppfylle kravene til netto energibehov for romoppvarming. Veiledende verdier er likevel gitt i tillegg B i standarden, og det er disse verdiene som er lagt til grunn i denne oppgaven. Det settes derimot krav til u-verdier på vinduer og dører, samt lekkasjetall, normalisert kuldebroverdi, SFP-faktor og varmetap for infiltrasjon og transmisjon. Kravene og veiledende verdier gitt i NS 3700 er presentert i tabell 2.

Tabell 2: Krav fra NS 3700 (Standard Norge, 2013)

Type	Krav /veiledning
U-verdi yttervegg (W/m ² K)	0,10-0,12
U-verdi tak (W/m ² K)	0,08-0,09
U-verdi gulv mot grunn (W/m ² K)	0,08
U-verdi vindu/dør (W/m ² K)	0,80
Lekkasjetall (h ⁻¹)	0,60
Normalisert kuldebroverdi (W/m ² K)	0,03
Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner (%)	80
SFP-faktor ventilasjonsanlegg (kW/(m ³ /s))	1.5
Varmetap fra infiltrasjon og transmisjon (W/ (m ² K))	0.48

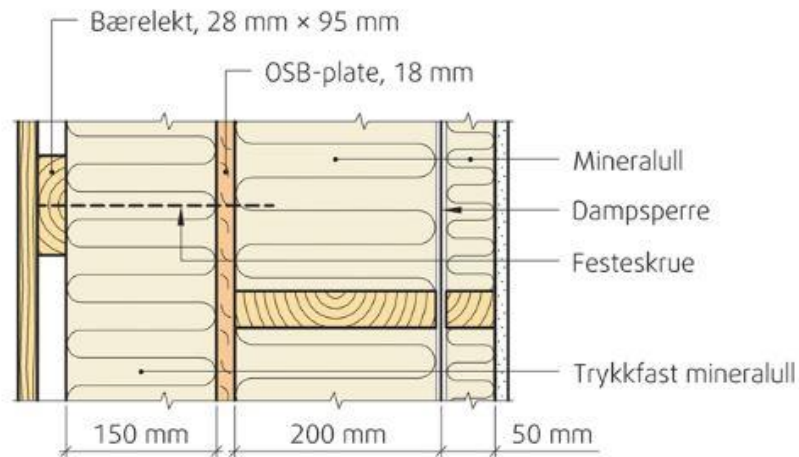
4.2.3.1 Klimaskjerm

I Norge er det vanlig å bygge hus i konstruksjon av treverk. Dette er fordi vi har mye treverk, og det er vanlig at man bygger med de ressurser som er lett tilgjengelige. For å tilfredsstille kravene til u-verdi kreves det tykk isolasjon som holder godt på varmen. Byggdetaljer 472.435 Passivhus i tre, (SINTEF Byggforsk, 2012) er brukt som veiledning ved valg av konstruksjonen for klimaskjerm, tak og gulv mot grunn.

4.2.3.1.1 Yttervegg

Ytterveggen er bygget opp av en trekledning etterfulgt av 150mm isolasjon, OSB plate som vindsperre, 200mm isolasjon, dampspærre og 50mm etterisolasjon. Det er brukt standard materialer i IDA ICE, og veggen får en u-verdi på 0,1 W/m²K. Bindingsverket utgjør en kuldebro som ikke er mulig å legge inn i IDA ICE, men det er benyttet et materiale bestående av isolasjon og stendere med cc 600mm, og derfor er dette tatt hensyn til i den samlede u-verdien. Materialene er lagt inn som lag, og den endelige u-verdien blir beregnet av programmet

med hensyn til materialenes varmekapasitet. Figur 11 illustrerer ytterveggen som er implementert.



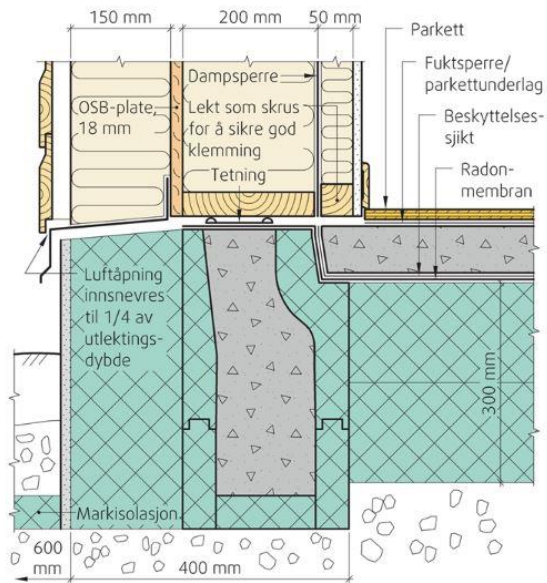
Figur 11: Yttervegg implementert i IDA ICE (SINTEF Byggforsk, 2012).

4.2.3.1.2 Tak

Taket på mesterhuset Nora er opprinnelig et skråtak. Dette er også lagt inn i IDA ICE, men kun som illustrasjonen vist i figur 8. Det er det rette taket i denne modellen som er bygget opp. Taket slik det er implementert i IDA ICE består av 400mm isolasjon med lekting og konstruksjon av tre slik som ytterveggene. Med dette oppnås en samlet u-verdi på $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$.

4.2.3.1.3 Gulv på grunn

Det er lagt inn parkettgulv på 150mm betong som gulvkonstruksjon. Dette etterfulgt av 400mm isolasjon, og ikke 300mm som vist i figur 12. Isolasjonstykkelsen ble større slik at en bedre u-verdi ble mulig å oppnå. Gulvet får en samlet u-verdi på $0,087 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Figur 12: Gulv på grunn implementert i IDA ICE (SINTEF Byggforsk, 2012).

4.2.3.2 Innvendige vegger

I kapittel 2 ble det nevnt at det er gjort studier hvor man har sett på resultatet fra å isolere de innvendige veggene til soverommene. Dette for å oppnå en høyere grad av temperatur soning. Da dette er underbygget i flere studier er det valgt å ha isolerte innervegger i alle simuleringene i denne oppgaven.

Veggene er bygget opp med bindingsverk av tre og 30cm isolasjon. Det er gipsplate på begge sider av vegg, og den totale u-verdien er på $0.62 \text{ W/m}^2\text{K}$.

4.2.3.3 Vinduer

Glasset som er brukt i vinduene er hentet fra databasen i IDA ICE. Det er av typen Pilkington Suncool 50/25 og har en u-verdi på $0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$. I tillegg har alle karmene en u-verdi på $0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

4.2.4 Ventilasjon

4.2.4.1 Luftmengder CAV

Beregningene som presenteres her er representable for et anlegg med konstante luftmengder. Det er en rekke faktorer som må vurderes når luftmengdebehovet til rom skal beregnes. Alle rom i en bolig brukes ikke på samme måte og faktorer som aktivitetsnivå, ulike belastninger og inneklimate må vurderes. Kravene til luftmengder er satt i TEK17 og det er generelt tre forhold som kan dimensjonere friskluftmengden for en bolig:

1. Generell ventilasjon der kravet er $1,2\text{m}^3/\text{h}$.
2. Tilluft per person eller sengeplass som er satt til $26\text{m}^3/\text{h}$ person.
3. Avtrekk i kjøkken og i våtrom.

Den vanligste metoden er å oppfylle de preaksepterte ytelsene til våtrom, kjøkken og luftmengde per sengeplass i soverom.

I kapittel 13 «inneklimate og helse» i TEK17 finner vi krav til ventilasjon. Generelt skal bygningen ha ventilasjon som sikrer tilfredsstillende luftkvalitet med hensyn til lukt og emisjoner, rommenes utforming og forutsatte bruk, samt konsentrasjonen av forurensing som kan gi helseskade og irritasjon. Det er også viktig at luften føres fra rom med høy luftkvalitet til rom med lavere luftkvalitet. Vanligst er det å ha tilluft i soverom og stue, og avtrekk i bad, kjøkken og bod. Rom som ikke er ment til varig opphold skal ha en minimumsventilasjon på $0,7\text{m}^3/\text{h}$.

Kjøkken, bad, toalett og våtrom skal tilrettelegges for forserte luftmengder ved behov. For eksempel under matlaging og dusjing. Dette løses ved ventilator i kjøkken, og vifter i våtrom. For disse rommene gjelder krav presentert i tabell 3.

Tabell 3: Krav til avtrekk i våtrom og i kjøkken

Rom	Grunnventilasjon	Forsert ventilasjon
Kjøkken	$36\text{ m}^3/\text{h}$	$108\text{ m}^3/\text{h}$
Bad	$54\text{ m}^3/\text{h}$	$108\text{ m}^3/\text{h}$
Toalett	$36\text{ m}^3/\text{h}$	$36\text{ m}^3/\text{h}$
Vaskerom	$36\text{ m}^3/\text{h}$	$72\text{ m}^3/\text{h}$

Det er kun grunnventilasjonen som er lagt til grunn i denne oppgaven da ventilator i kjøkken, og vifter i våtrom kun brukes i korte perioder i løpet av dagen.

Ser vi på de tre dimensjoneringsgrunnlagene vil det for den representative boligen være avtrekk i våtrom og kjøkken som utgjør den største luftmengden. Derfor settes dette som grunnlag for dimensjoneringen.

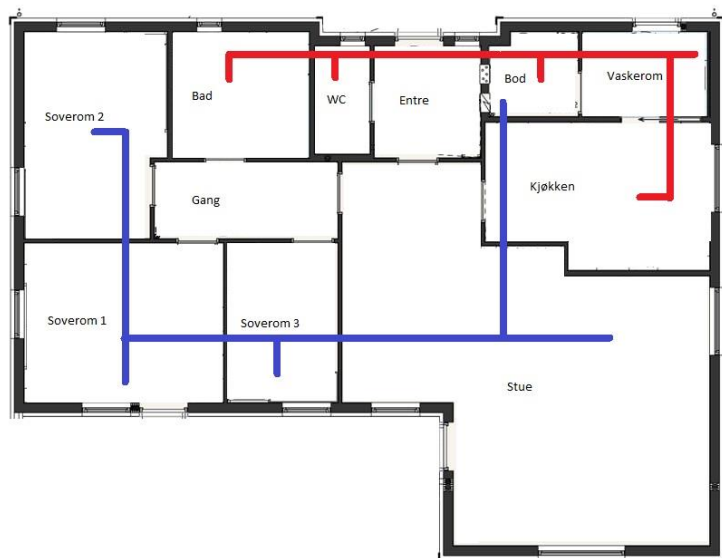
1. generell ventilasjon (159m³/h)
2. Tilluft per person (104m³/h)
3. Avtrekk våtrom og kjøkken (162m³/h)

I tillegg til disse luftmengdene kan oppbevaring i bod skape lukt. Å legge inn et avtrekk her vil derfor være lurt, og luftmengdene vil derfor være noe større enn design kriteriene. Luftmengder for de forskjellige sonene i mesterhuset Nora er presentert i tabell 4.

Tabell 4: Luftmengder

Sone	Tilluft (m ³ /h)	Avtrekk (m ³ /h)
Soverom 1	52	
Soverom 2	26	
Soverom 3	26	
Gang		
Bad		54
Entre		
Vaskerom		36
WC		36
Bod		10
Kjøkken		36
Stue	68	
Totalt	172	172

I IDA ICE har man ikke mulighet til å velge hvor i rommet avtrekk og tilluft skal være plassert, men luften blir uniformt sirkulert inn og ut av rommene. Den typiske ventilasjonsføringen for denne løsningen er vist i figur 13.



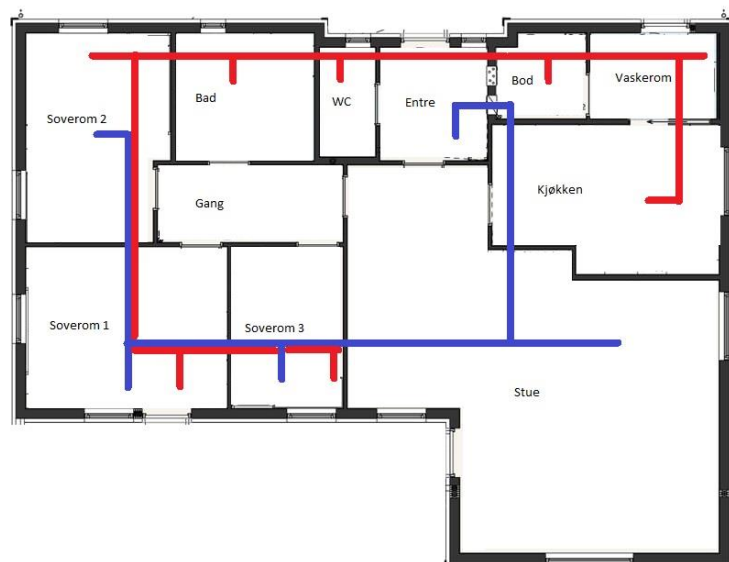
Figur 13: Skisse av tilluft og avtrekk.

Som beskrevet i litteraturstudiet er det tidligere forsket på fordelene med et klart skille mellom soverom og oppholdsrom. Ved å innføre både tilluft og avtrekk i soverom kan soning oppnås da luftstrømmene fra soverommene blir mer adskilt fra oppholdsrommene. Med en slik løsning må det tilføres mer luft til resten av boligen, da både krav til luftmengder, luftkvalitet, avtrekk i våtrom og i kjøkken fortsatt må tilfredsstilles. I tillegg krever det flere kanaler for avtrekk noe som tar plass. Nye luftmengder for de forskjellige sonene er presentert i tabell 5.

Tabell 5: Luftmengder ved soning av soverommene.

Sone	Tilluft (m ³ /h)	Avtrekk (m ³ /h)
Soverom 1	52	52
Soverom 2	26	26
Soverom 3	26	26
Gang		
Bad		54
Entre	40	
Vaskerom		36
WC		36
Bod		10
Kjøkken		36
Stue	132	
Totalt	276	276

Det må tilføres drøye 100 m³/h mer luft enn den originale løsningen. Figur 14 skisserer ventilasjonsføringen når avtrekk i soverom er implementert.



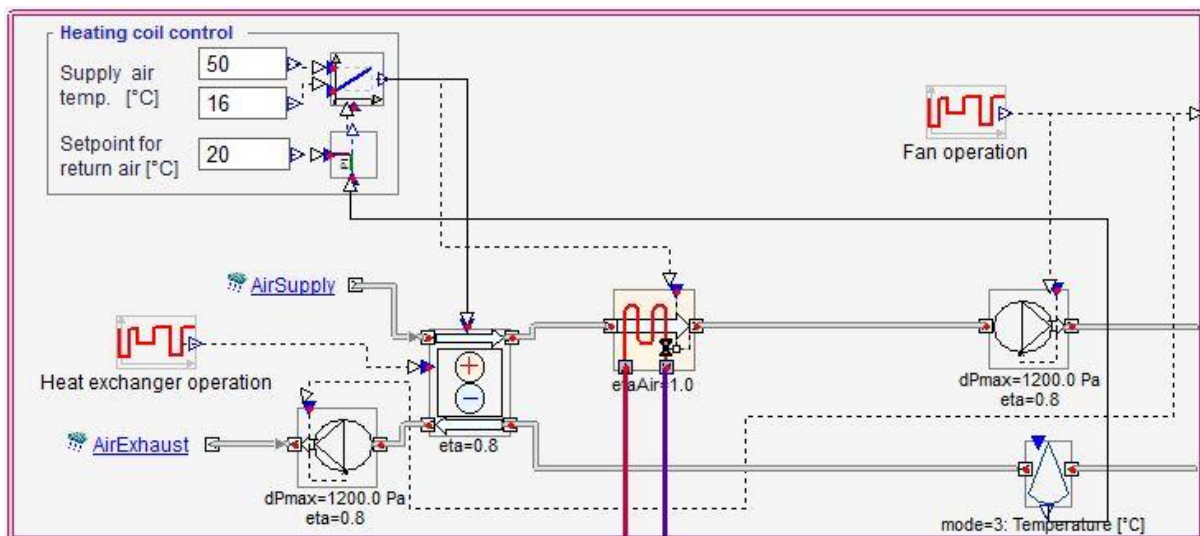
Figur 14: Skisse av tilluft og avtrekk ved soning av soverom.

4.2.4.2 Aggregat

Det er valgt å ta utgangspunkt i et returtemperaturstyrt aggregat. Dette består av to vifter, en for tilluft og en for avtrekk, en varmeveksler og et vannbårent varmebatteri. Kjølebatteriet er fjernet da dette ikke blir brukt i simuleringene. Aggregatet blir styrt av en PI regulator som får signal fra en temperatursensor plassert i avtrekket. I tillegg får PI regulatoren et signal om ønsket returtemperatur setpunkt. Temperaturen på tilluften reguleres deretter for å oppnå en stabil returtemperatur på det ønskede setpunktet.

Virkningsgraden på varmeveksleren og SFP for viftene forblir uforandret gjennom alle simuleringene, og tilfredsstillter kravene satt i NS 3700 som beskrevet i kap. 4.2.3.

I de første simuleringene er det satt en maksimal tilluftstemperatur på 50°C og en minimal på 16°C. Ved 55°C vil støvpartikler svis, noe som ikke er ønskelig med tanke på helse og luftkvalitet. Den maksimale temperaturen er derfor satt under dette punktet for å være sikker på at vi unngår brenning. Figur 15 viser en illustrasjon av aggregatet i IDA ICE.

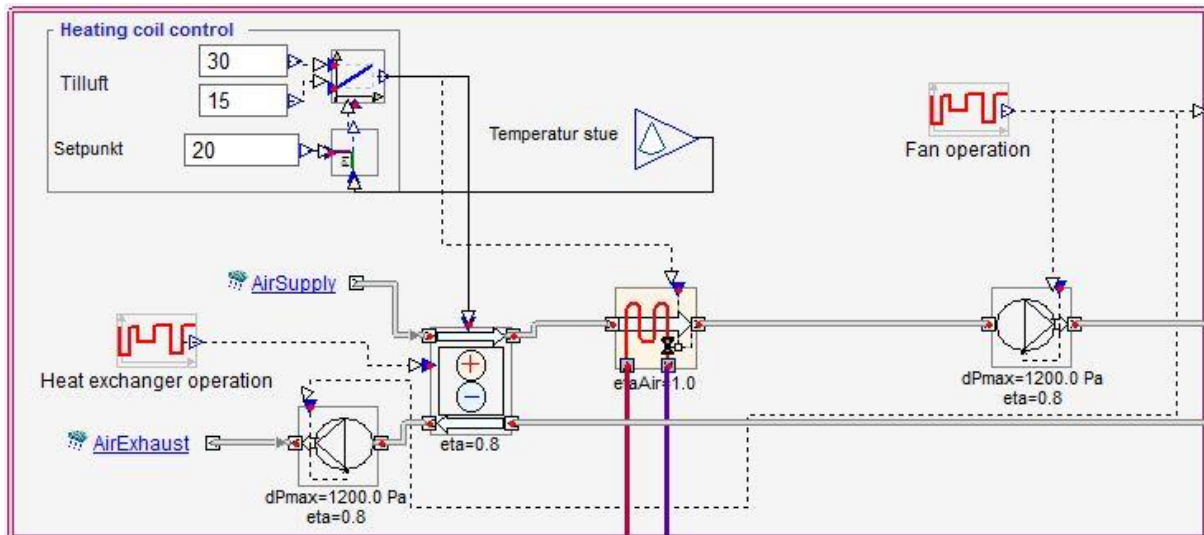


Figur 15: Returtemperatur styrt aggregat.

Underveis i simuleringene er det valgt å redusere maksimal tilluftstemperatur til 30°C da dette viser seg å være tilstrekkelig. I tillegg er den minimale temperaturen styrt før temperaturløftet over viften. Denne er også senket underveis i simuleringene til 14°C og 15°C da løftet over viften står for 1°C økning.

4.2.4.2.1 Sonetemperatur styrt aggregat

Ved å gjøre enkle modifiseringer kan vi styre aggregatet etter den operative temperaturen i en enkelt sone i huset. Det er satt inn en sonesensor i stuen som sender signalet til PI regulatoren. Setpunktet for den operative temperaturen er fortsatt satt til 20°C. En illustrasjon av det modifiserte aggregatet er vist i figur 16.



Figur 16: Sonetemperatur styrt aggregat.

4.2.4.3 Nattsenkning

Innføring av nattsenkning er gjort med det sonetemperaturstyrte aggregatet. Setpunktet for den operative temperaturen vist i figur 16 er nå byttet ut med en timeplan der temperaturen skal holdes på 15°C fra 22:00 til 07:00, og 20°C fra 07:00 til 22:00. Minimum tilluftstemperatur er her satt til 14°C. Aggregat og timeplan for nattsenkning er vist i vedlegg A. Nattsenkning benyttes både for anlegget med konstante luftmengder samt anlegget med variable luftmengder.

4.2.4.4 VAV

Ved innføring av variable luftmengder er det satt en minimal og en maksimal luftmengde for hver enkelt sone. Den maksimale luftmengden er satt lik de vi hadde ved innføring av avtrekk i soverom. I §13-2 punkt 1 i veiledningen til TEK 17, (Direktoratet for byggkvalitet, u.d.) står det at vi må sikre en frisklufttilførsel på minimalt 1,2m³/hm² når enheten er bebodd. Denne luftmengden er derfor satt som minimum luftmengde. Tabell 6 viser en oversikt over luftmengdene.

Tabell 6: Minimum og maksimum luftmengder VAV.

Sone	Minimum tilluft (m³/h)	Minimum avtrekk (m³/h)	Maksimum tilluft (m³/h)	Maksimum avtrekk (m³/h)
Soverom 1	19	19	52	52
Soverom 2	16	16	26	26
Soverom 3	10	10	26	26
Gang				
Bad		15		54
Entre	7		40	
Vaskerom		16		36
WC		6		36
Bod		7		10
Kjøkken		20		36
Stue	57		132	
Totalt	109	109	276	276

Det er laget to timeplaner for tilluft og avtrekk ved variabel luftmengde. En for soverommene og en for de øvrige rommene. Tanken er at det blir tilført maksimal luftmengde i soverom om natten, og minimal luftmengde om dagen. For de øvrige rommene blir det tilført maksimal luftmengde om dagen, og minimal om natten. I tillegg er det lagt inn en time om morgenen med maksimal luftmengde både i soverommene og i de øvrige rommene for å øke temperaturen før beboerne står opp. Timeplanene er vist i vedlegg B.

4.2.5 Gulvvarme

I norske hus er bruk av gulvvarme i baderom og toalett vanlig. Det er derfor valgt å legge dette inn i IDA ICE. Dette er lagt inn som elektrisk gulvvarme med en effekt på 40 W/m².

4.2.6 Interne varmetilskudd

Passivhuskonseptet går ut på at det meste av oppvarmingsbehovet til boligen skal dekkes av interne varmetilskudd. Dette vil være mulig i og med at bygningskroppen er meget godt isolert,

varmetapet blir derfor minimalt. I IDA ICE legges det inn varmetilskudd fra lys, utstyr og personer som tas med i beregningen. Det er sett på tre ulike scenarioer:

1. Ingen interne varmetilskudd
2. NS 3700 varmetilskudd
3. Faktisk personbelastning

4.2.6.1 Ingen interne varmetilskudd

I simuleringene har man mulighet for å velge hvor mange prosent av det interne varmetilskuddet som skal ligge til grunn for beregning. Ved å sette denne prosenten til null vil man fjerne varmetilskuddet. Dette er gjort for å danne en basis i starten av simuleringene.

4.2.6.2 NS 3700 varmetilskudd

For passivhus generelt forutsettes det at man bruker energieffektive løsninger både for lys og utstyr. Dette vil gi et lavt internt varmetilskudd, men det vil fortsatt være til stede. I tabell A.1 i NS 3700, (Standard, 2013) er det gitt driftstid og varmetilskudd i driftstiden for de ulike interne tilskuddene. Tabell 7 viser driftstider og varmetilskudd i driftstiden for de ulike postene.

Tabell 7: Interne varmetilskudd.

Type	Driftstid (timer/døgn/uker)	Varmetilskudd (W/m ²)
Belysning	16/7/52	1,95
Utstyr	16/7/52	1,80
Personer	24/7/52	1,50

I IDA ICE kan man legge inn varmetilskudd fra belysning og utstyr i alle sonene per kvadratmeter. Dette er derfor gjort for de to tilfellene. Merknaden i NS 3700 sier at kun 60% av varmetilskuddet fra utstyr går med til varme i bygningen. Resterende 40% går tapt i sluk o.l. Det er derfor kun lagt inn varmetilskudd for 60% av utstyr. For personer er det litt annerledes. Her må man legge inn antall personer per kvadratmeter. Standard i IDA ICE ligger personene inne med en MET. Dette tilsvarer 58.2 W/m². For å oppnå et varmetilskudd på 1.5 W/m² deles disse verdiene på hverandre og vi får ut hvor mange personer per kvadrat dette utgjør. Det er denne verdien som er lagt inn i IDA ICE.

Driftstiden til de interne varmetilskuddene er lagt inn som timeplaner i programmet. For varmetilskuddet fra lys og utstyr er driftstiden lik, og samme timeplan er derfor brukt. Denne er vist i vedlegg C. For personer er de som beskrevet i tabell 7 alltid til stede. Det er derfor valgt «always present» i IDA ICE.

4.2.6.3 Faktisk personbelastning

For å se på mer reelle temperaturer i soverom og i oppholdsrom er det valgt å se på en mer reell personbelastning. Om natten befinner brukerne seg i soverommene, og om dagen i de resterende oppholdsrommene. Dette er et hus med sengeplass til typisk fire personer, og dette er brukt som utgangspunkt. Varmetilskuddet fra belysning og utstyr forblir uforandret.

4.2.6.3.1 Soverom

Aktivitetsnivået i soverom er lavere enn i resten av boligen da brukerne ligger og sover. Typisk aktivitet for en sovende person er 0.7 – 0.8 MET, (Ingebrigtsen, Ventilasjonsteknikk del 1, 2016). 0,7 MET er brukt som input. I hovedsoverommet er det to personer om natten, og i de to mindre soverommene er det en person i hver av dem. I tillegg er det laget en spesifikk timeplan for personer i soverom. Det antas at de legger seg kl. 22:00 og står opp 07:00. Dette kan variere fra husstand til husstand, men disse tidene er brukt som referanse i denne oppgaven. Timeplanen for dette er vist i vedlegg C.

4.2.6.3.2 Oppholdsrom

I de resterende oppholdsrommene er aktivitetsnivået noe høyere, og er satt til 1 MET. Det er lagt inn fire personer i gang, entre, kjøkken og stue. I WC, bad og vaskerom er det lagt inn en person, og i boden null personer. Det er opprettet en timeplan for personbelastning i oppholdsrommene som er vist i vedlegg C. Her er det skilt mellom hverdag og helg, da man som regel er på jobb, skole, o.l. om dagen.

4.2.7 Energibruk

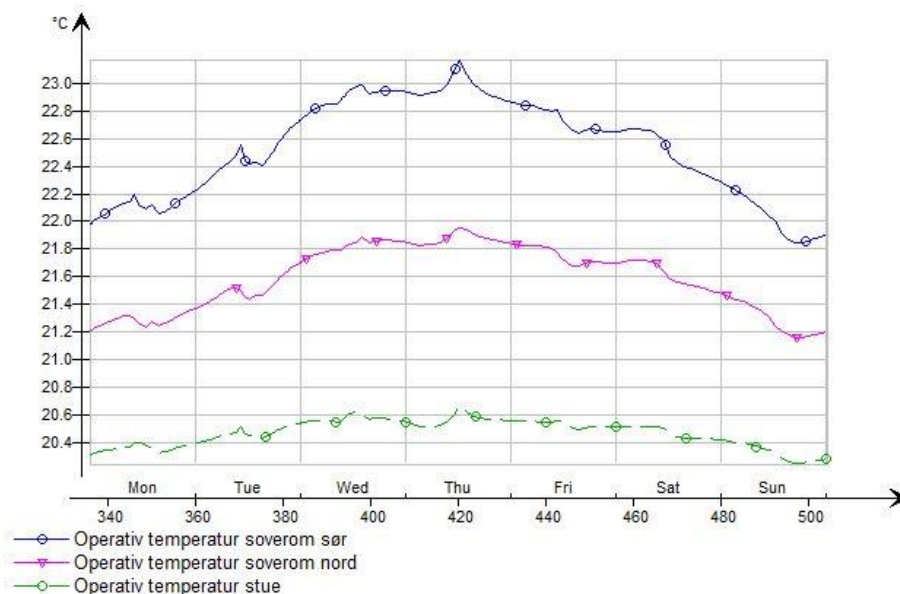
Som beskrevet i kapittel 2.1 skal netto energibehov til oppvarming av boligen beregnes etter lokalt klima der boligen oppføres. Denne boligen er plassert i Oslo med en årsmiddeltemperatur på 6,2°C.

Totalt energibehov til romoppvarming for den aktuelle boligen er beregnet til 21,6kWh/m² år.

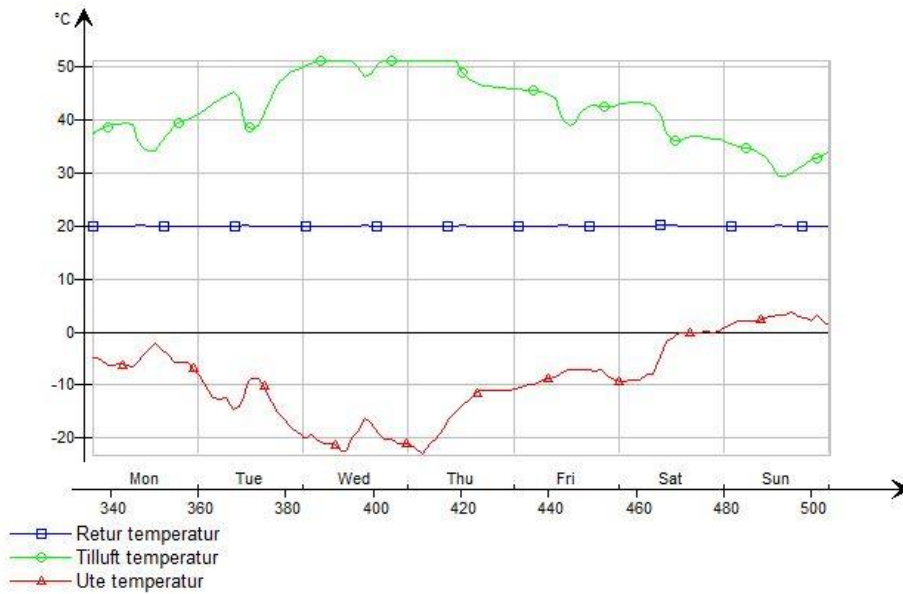
5 Resultater

For å danne et grunnlag for videre simuleringer er det kjørt en simulering med et returtemperatur styrt aggregat og dimensjonerende luftmengder uten avtrekk i soverom som beskrevet i kapittel 4.2.4.2. Returtemperaturen er satt til 20°C. Varmetilskudd fra personer, lys og utstyr er lagt inn etter kravene til energiberegning fra NS 3700. Soveromsdørene er alltid lukket. Uken som er valgt simulert er beskrevet i kapittel 4.2.2. I den første simuleringen er alle interne varmetilskudd fjernet slik at man kan se hvor mye av varmetilskuddet disse utgjør.

Fra figur 17 ser vi operativ temperaturforskjell mellom to soverom hhv vendt mot sør og nord og stuetemperaturen. Temperaturen i soverommet vendt mot sør er helt klart høyest. Luftmengden i soverom er relativt høy for å tilfredsstille kravene i TEK, og lekkasjen mellom rommene er liten når dørene er lukket. Større luftmengde vil gi en høyere temperatur, og motsatt hvis man velger å øke tilluftstemperaturen. Temperaturen i stuen er betraktelig lavere enn i begge de to soverommene. Luften som blir tilført her skal dekke varmebehovet til de resterende rommene og lekkasjen mellom rommene er større da disse dørene er åpne. Figur 18 viser temperaturene i aggregatet og utetemperaturen. Temperaturen i stuen holdes relativt konstant i kontrast med soveromstemperaturene som blir høyere med lavere utetemperatur og høyere tilluftstemperatur. Dette igjen fordi lekkasjen fra soverommene er mindre enn i stuen.

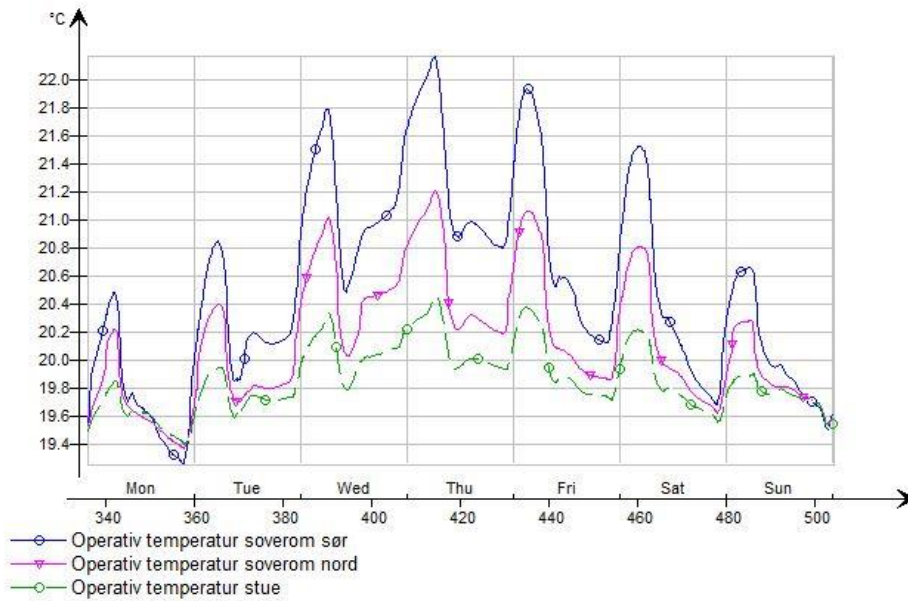


Figur 17: Operativ temperatur forskjellige rom uten interne varmetilskudd..

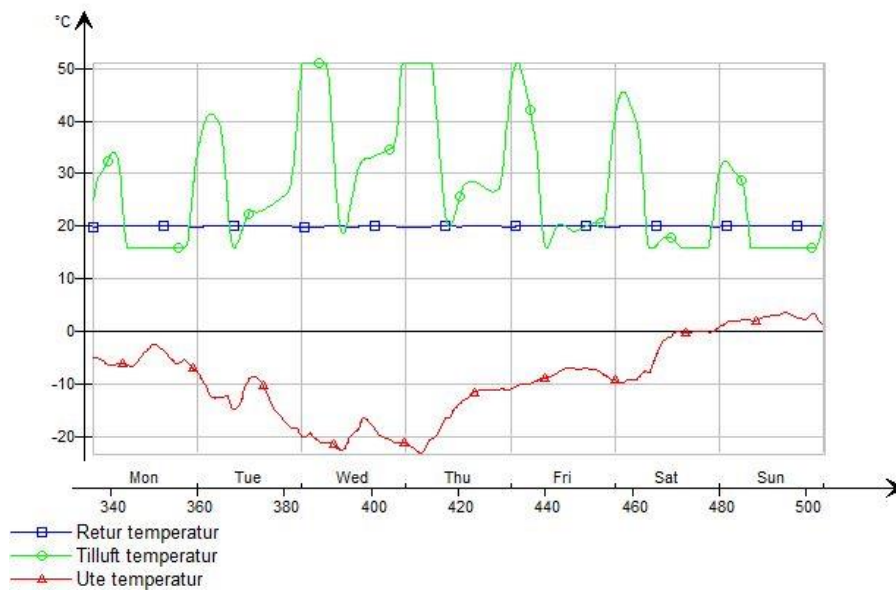


Figur 18: Ute temperatur, tilluftstemperatur og returtemperatur for aggregat.

Introduserer vi varmetilskudd fra personer, lys og utstyr som beskrevet i kapittel 4.2.6.2 blir situasjonen en helt annen. I figur 19 ser vi at temperaturene endrer seg mye i takt med det interne varmetilskuddet. Personbelastningen er til stede hele tiden, mens varmetilskuddet fra lys og utstyr blir borte kl. 22 hver dag. Oppvarmingen via tilluft må ta over for det tapte varmetilskuddet som vist i figur 20. Dette resulterer i et plutselig hopp i den operative temperaturen da maksimal tilluftstemperatur er satt til 50°C. Denne effekten er tydeligere på de kaldeste dagene, og jevnere ved mildere utetemperaturer.

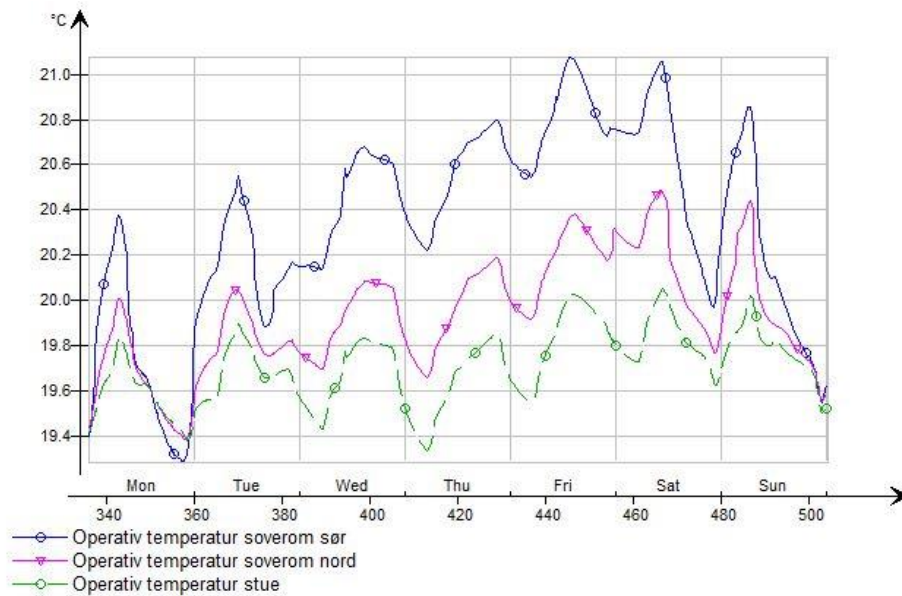


Figur 19: Operativ temperatur forskjellige rom med interne varmetilskudd.



Figur 20: Ute temperatur, tilluftstemperatur og returtemperatur for aggregat med interne varmetilskudd.

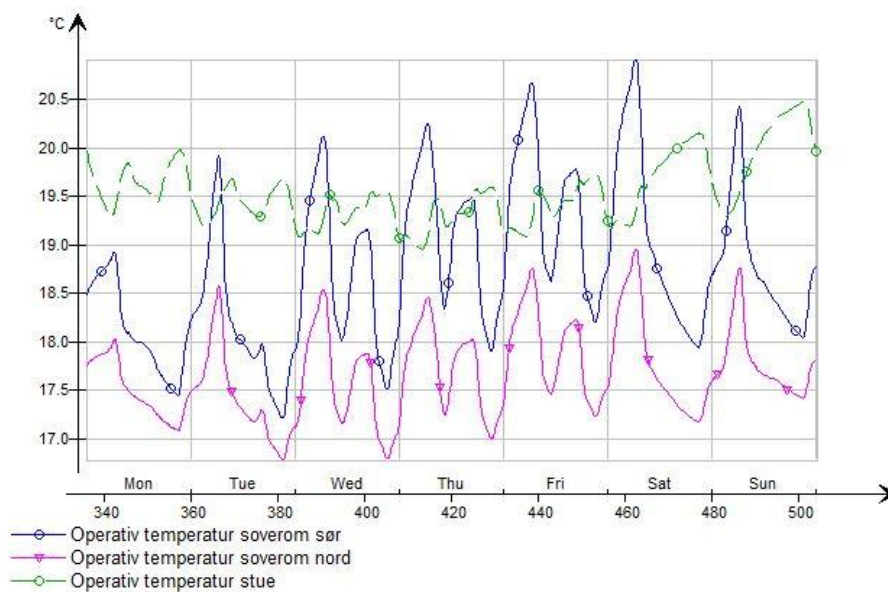
Med tanke på disse plutselige temperaturhoppene er det interessant å se på hvilke temperaturer som oppnås ved å senke den maksimale tilluftstemperaturen til 30°C. Figur 21 viser at dette gjør temperaturen jevnere uten at det går på bekostning av for lav temperatur om dagen.



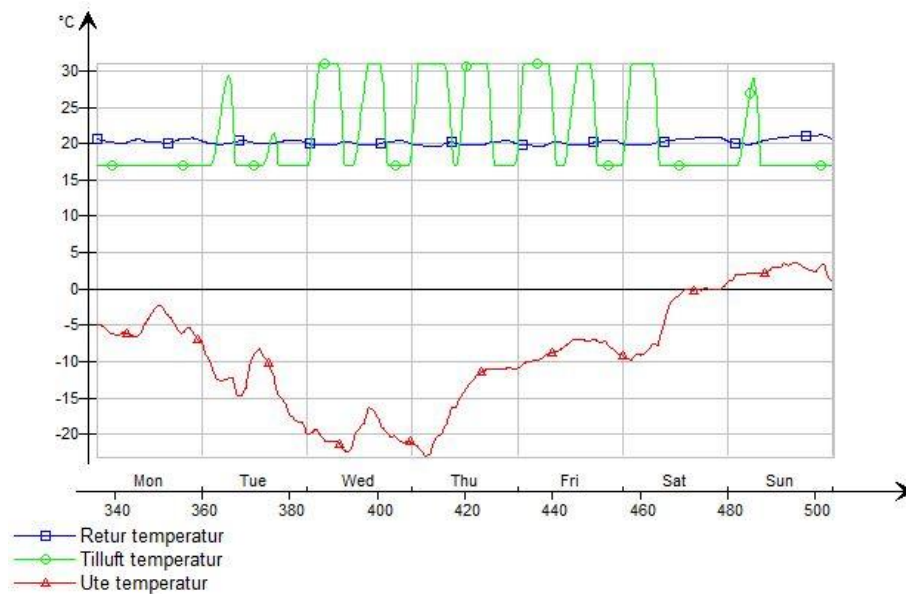
Figur 21: Operativ temperatur forskjellige rom ved senket maksimal tilluftstemperatur.

5.1 Brukervaner

Selv om kravene i NS 3700 bestemmer hvilke interne varmetilskudd som skal ligge til grunn for simuleringer, er det en nødvendighet å se på den faktiske belastningen fra personer. I realiteten brukes som regel soverom mest eller kun om natten. Dette gjør at varmetilskuddet er størst om natten når problemet med høye soveromstemperaturer finner sted. Den faktiske personbelastningen er beskrevet i kapittel 4.2.6.3.



Figur 22: Operativ temperatur forskjellige rom ved faktisk personbelastning.



Figur 23: Ute temperatur, tilluftstemperatur og returtemperatur for aggregat med faktisk personbelastning.

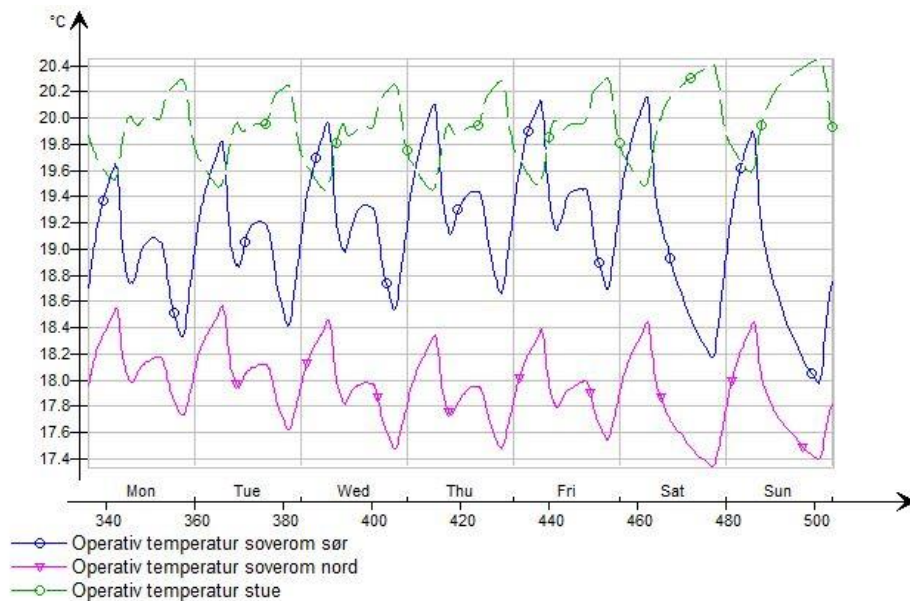
Varmetilskuddet fra lys og utstyr forblir uforandret. Maksimal tilluftstemperatur er beholdt på 30°C. Figur 22 viser at det utgjør en forskjell på i overkant av en grad i det sørvendte soverommet. Her er personbelastningen størst, og dette er derfor et naturlig resultat. I stuen og de øvrige rommene er personbelastningen mye mindre varierende over dagen kontra det den er i soverommene. Derfor får vi en mindre svingning her. Figur 23 viser temperaturene i aggregatet med den faktiske personbelastningen.

Temperaturen i det sørvendte soverommet er fortsatt høyest, noe som ikke er ønskelig. Vi vil ha de høyeste temperaturene i stuen og laveste i soverommene. Som diskutert i teoridelen av denne oppgaven er det tidligere prøvd å introdusere avtrekk i soverom. Vil dette kunne redusere temperaturen i soverom om natten?

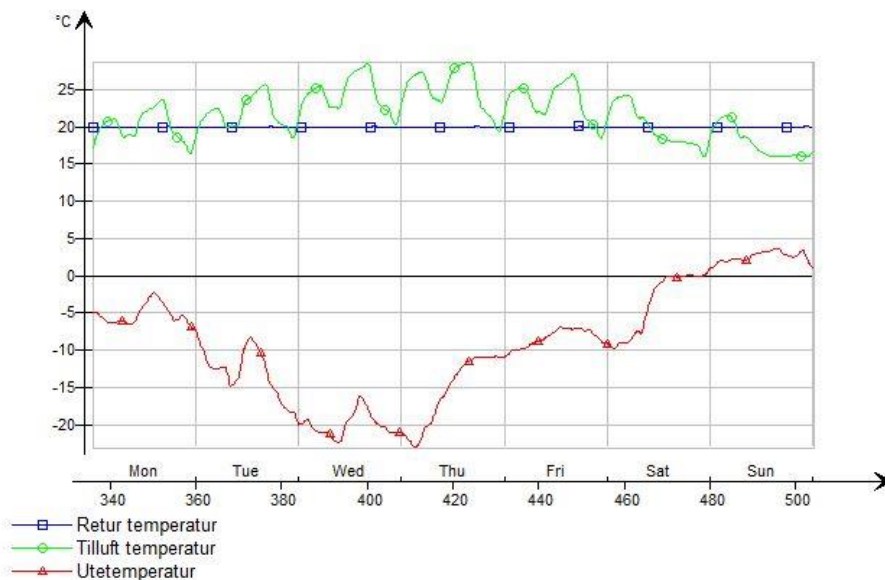
5.2 Introduksjon av avtrekk i soverom

Med reell personbelastning tilstede er det valgt å introdusere avtrekk i soverom. I teorien vil dette gjøre at det blir en høyere transport av varm luft ut fra rommene når dørene er lukket. Dette er ønskelig da lekkasjen i overkant og/eller underkant av dørene ikke er stor nok til å transportere bort nok varme i forhold til hva som blir tilført via de forskjellige kildene. Når dette gjøres må luftmengdene i stuen økes for at ventilasjonen fortsatt skal være balansert i resten av huset. I tillegg til å øke tilluften i stuen introduseres også tilluft i entre for å spre luften litt bedre som beskrevet i kap 4.2.4.1.

Figur 24 viser operativ temperatur i de forskjellige rommene. Den maksimale temperaturen i det sørvendte og nordvendte soverommet har nå sunket med 2⁰C. I tillegg har den gjennomsnittlige temperaturen i stuen økt med rundt 1⁰C. Dette er et resultat av høyere luftmengder i stuen sammenlignet med før avtrekk i soverom ble introdusert. I og med at vi har større luftmengder vil naturligvis også temperaturene på tilluften bli redusert som vi ser ved å sammenlikne figur 23 med figur 25.



Figur 24: Operativ temperatur etter introduksjon av avtrekk i soverommene.



Figur 25: Utetemperatur, tilluftstemperatur og returtemperatur for aggregat etter introduksjon av avtrekk i soverommene.

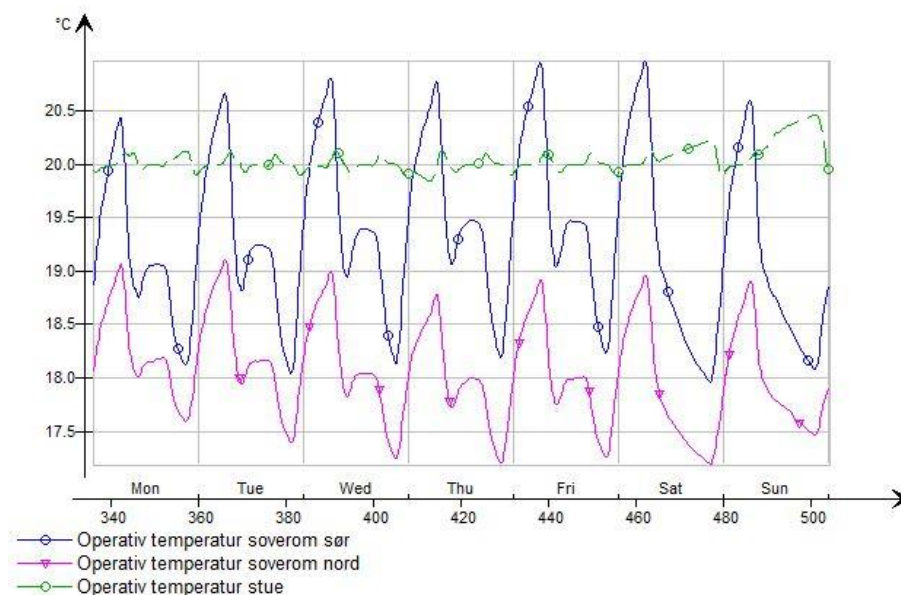
5.3 Kontrollstrategier

Ulike typer kontrollstrategier er testet for å se om dette vil senke temperaturen i soverom ytterligere. Til nå er det brukt er returtemperatur styrt aggregat. For de tre alternativene vil det være avtrekk i soverom og en maksimal tilluftstemperatur på 30°C.

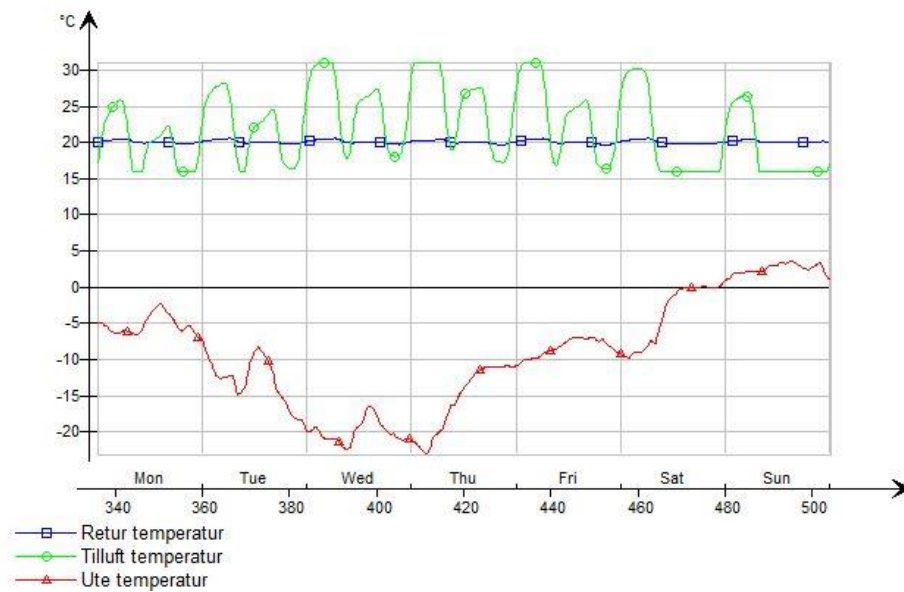
5.3.1 Sonetemperatur styrt aggregat fra stue

Det er satt inn en sonesensor i stuen som gir tilbakemelding til aggregatet om temperaturen i rommet. Setpunktet for stuetemperaturen er satt til 20°C. Selv om problemet ligger i soveromstemperaturene er det viktig at temperaturen i de øvrige rommene holdes på et akseptabelt nivå, slik at termisk komfort fortsatt oppnås. Dette er grunnen til at sensoren er plassert i stuen.

Figur 26 viser at temperaturen i stuen holdes relativt konstant på 20°C. Det er som forventet da dette er setpunktet for hvilken temperatur som er ønskelig. De høyeste soveromstemperaturene har vi fortsatt i soverommet mot sør, som har de høyeste luftmengdene og det største interne varmetilskuddet. I figur 27 ser vi at maksimal tilluftstemperatur på 30°C kun tilføres i korte perioder der utetemperaturen er lavest.



Figur 26: Operativ temperatur i de tre rommene med sonestyrt tilluftstemperatur.

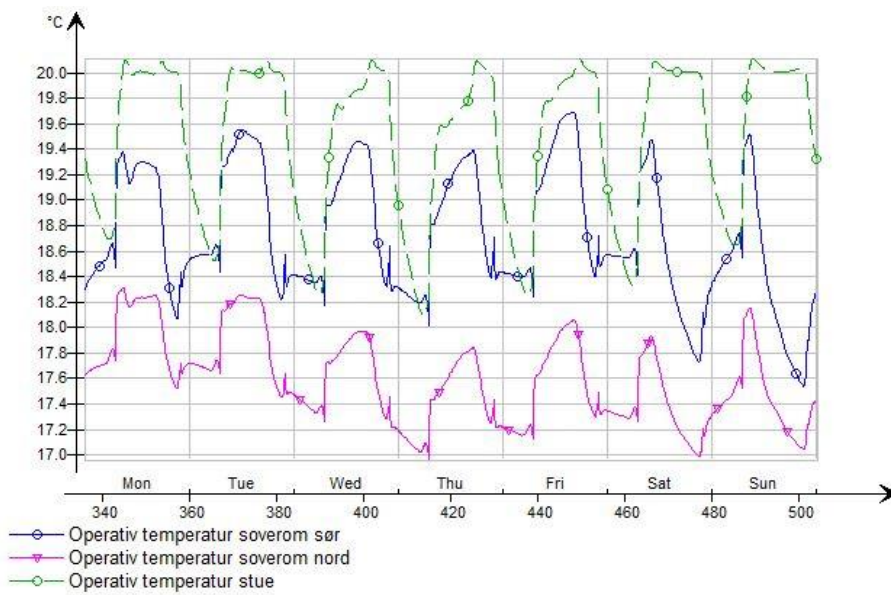


Figur 27: Ute temperatur, tilluftstemperatur og returtemperatur for aggregat med sonestyrt tilluftstemperatur.

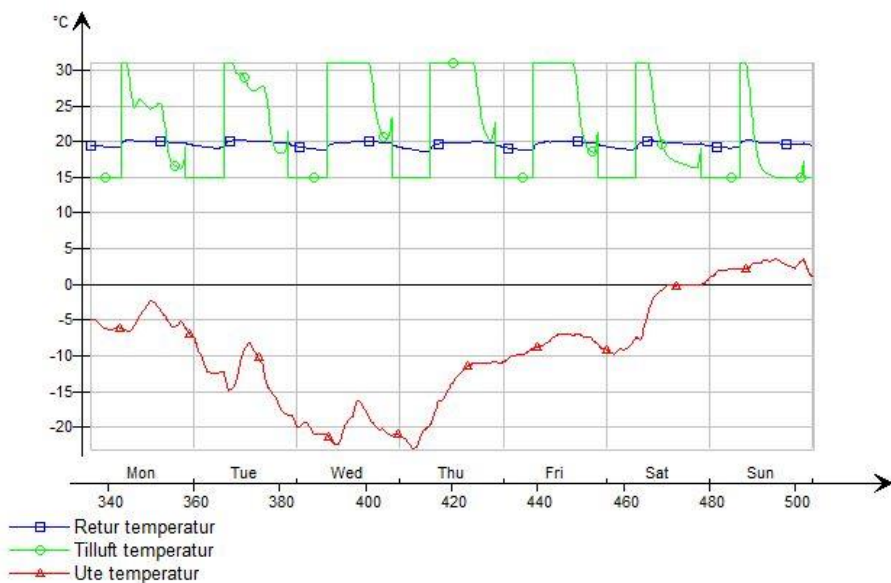
De høyeste soveromstemperaturene får vi om natten da personbelastningen er størst. Det er ønskelig å snu denne situasjonen slik at de høyeste temperaturene oppnås om dagen og de laveste om natten. Derfor er det interessant å innføre nattsenking for å se om dette vil gjøre situasjonen bedre samtidig som vi opprettholder en akseptabel temperatur i de resterende rommene om dagen.

5.3.2 Nattsenking

Hadde vi flyttet temperatursensoren til det sørvendte soverommet ville stuetemperaturen fluktuert på samme måte som soveromstemperaturene gjorde da sensoren ble plassert i stua. I tillegg ville den operative temperaturen i stuen blitt for lav i og med at setpunktet i soverom er ønsket lavere enn 20°C. Derfor er det ønskelig å beholde sensoren i stuen, men innføre nattsenking for å se om temperaturen i soverom blir lav nok. Timeplanen for nattsenking er beskrevet i kapittel 4.2.4.3.



Figur 28: Operativ temperatur forskjellige rom ved nattsenking.

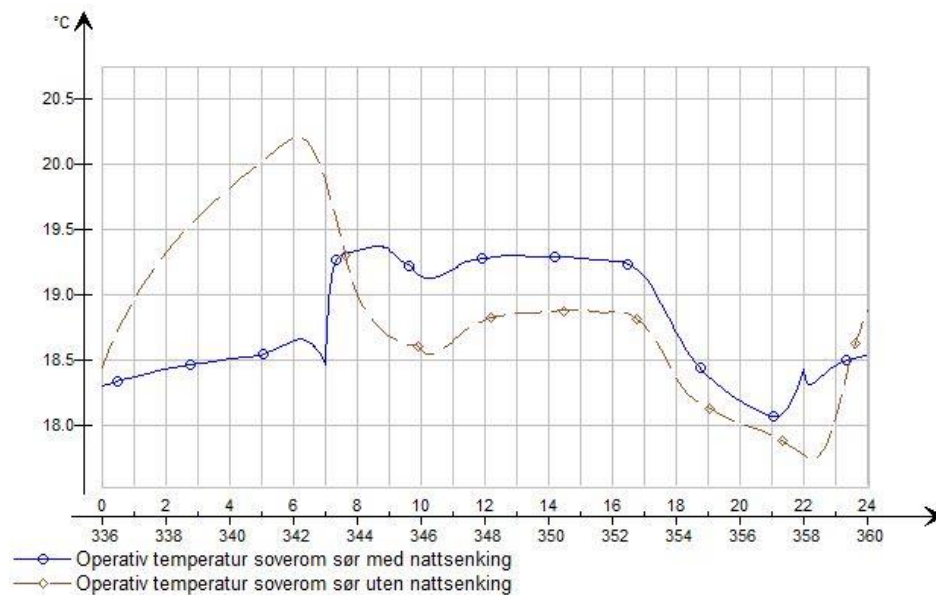


Figur 29: Ute temperatur, tilluftstemperatur og returtemperatur for aggregat med nattsenking.

Som ønsket oppnår vi lavere temperaturer om natten i alle rommene. Stuetemperaturen kommer seg i tillegg raskt opp mot 20°C etter nattsenkingen. Dette er en viktig faktor for å unngå for kalde oppholdsrom om morgenen. Det største fallet i temperatur i soverom ser vi i helgene der personbelastningen i stuen er høyere om dagen enn i ukedagene. Dette gjør at temperaturen på

tilluften er lavere om dagen og dermed holdes også soveromstemperaturen lavere. Figur 28 illustrerer dette.

Sammenlikner vi temperaturen i det sørvendte soverommet med den vi fikk når sensoren ble introdusert i stuen ser vi at temperaturen holder seg lav gjennom hele natten etter introduksjon av nattsenking. Dette går på bekostning av at stuetemperaturen også blir lavere om natten, men så lenge den kommer raskt opp igjen om morgenen vil ikke dette bli et problem. Figur 30 illustrerer soverommet mot sør for de to tilfellene over en 24 timers periode.

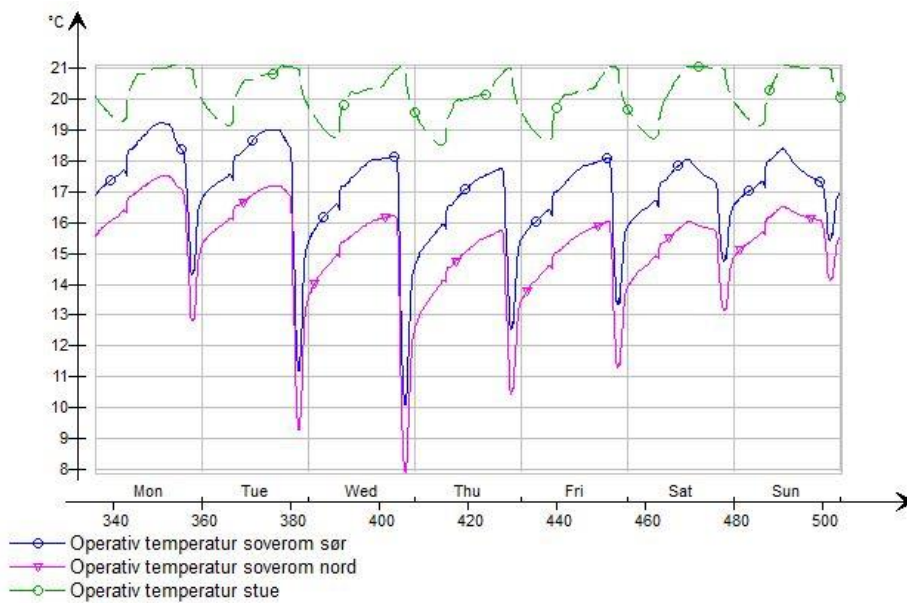


Figur 30: Temperaturer i soverom mot sør før og etter introduksjon av nattsenking.

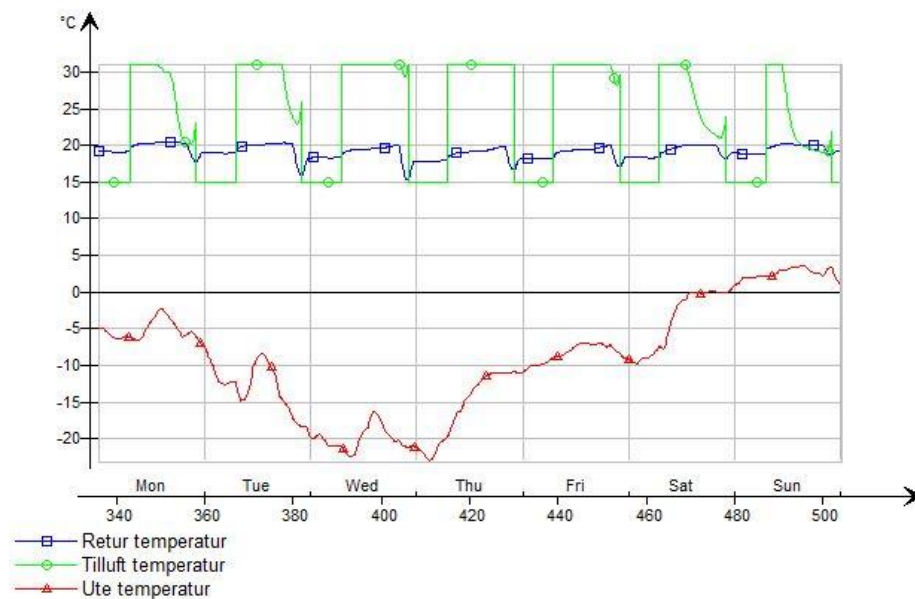
Fra teorikapittelet fant man at den mest komfortable operative temperaturen i soverom ligger mellom 16°C og 18°C for folk flest. Til nå har vi kun oppnådd lav nok temperatur i det minste soverommet som er vendt mot nord. Dermed introduseres vinduslufting før brukerne legger seg om kvelden.

5.3.3 Vinduslufting

For å senke temperaturen ytterligere i soverom om natten er det interessant å se på om dropet i temperatur i disse rommene slik vi ser i figur 28, kan gjøres enda større. En mulig løsning er å introdusere vinduslufting over en kort periode før brukerne legger seg. På denne måten vil temperaturen i soverommet være lav før nattsenkingen, og dermed holde seg på et lavt nivå gjennom natten.



Figur 31: Operativ temperatur forskjellige rom med nattsinking og vinduslufting.



Figur 32: Utetemperatur, tilluftstemperatur og returtemperatur for aggregat med vinduslufting.

Som antatt viser figur 31 at vi nå får ønsket soveromstemperatur. Den holder seg rundt eller under 18°C hele natten og øker kun om dagen. Grafen for det sørvendte soverommet viser en noe for lav temperatur, her vil vi kunne fjerne vinduslufting og fortsatt oppnå akseptabel soveromstemperatur om natten, som vist i de foregående simuleringene.

Tilluftstemperaturen vi ser i figur 32 holder seg noe lengre på et høyere nivå sammenliknet med den vi så før vinduslufting ble introdusert.

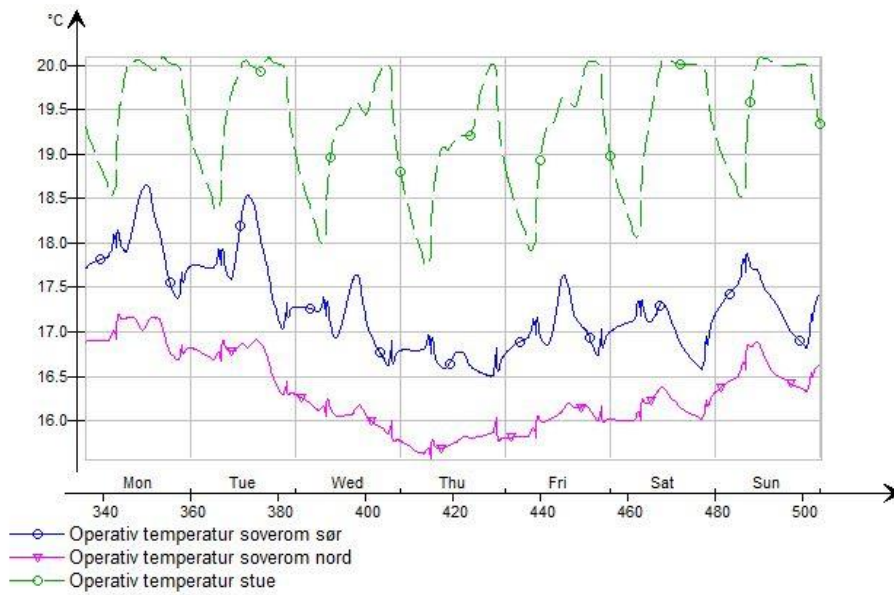
5.4 CAV vs. VAV

Som beskrevet i metodekapittelet er ikke VAV en mye brukt løsning i boliger i dag. VAV brukes for det meste til å redusere energibehovet i bygg. I kombinasjon med å oppnå en lavere soveromstemperatur er det en interessant metode. Hvis vi kan kombinere dette med nattsenkning vil vi potensielt kunne oppnå lave temperaturer uten å måtte åpne vinduene. Ideen er at luftmengdene økes i soverommet om natten, senkes om dagen, og motsatt for øvrige oppholdsrom. Vil vi da kunne holde soveromstemperaturene på et lavt nok nivå om dagen og fortsatt få tilfredsstillende temperaturer i de øvrige rommene?

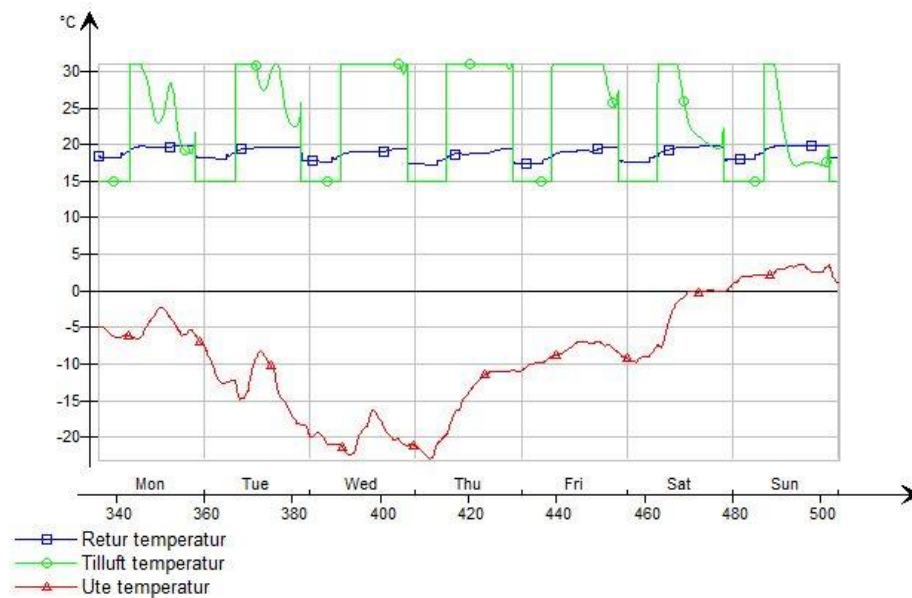
Maksimal tilluftstemperatur er beholdt på 30°C, og timeplanen for nattsenkning er lik som i kapittel 5.3.2, men om natten er temperatursetpunktet i stuen satt til 17°C. Dette fordi luftmengdene i soverommene er lavere, og det bør være tilstrekkelig for å få senket temperaturen til ønsket nivå. Timeplan for VAV og hvilke minimale og maksimale luftmengder som er brukt er beskrevet i kapittel 4.2.4.4.

Figur 33 viser at vi under hele perioden oppnår en soveromstemperatur under 18°C om natten. Temperaturen i de to soverommene holder seg i tillegg jevnere enn de gjorde ved bruk av konstante luftmengder. Temperaturen i det nordvendte soverommet er noe for lav hele dagen. Når det kommer til stuetemperaturen er denne lavere enn ønsket, og den kommer kun opp til setpunktet på 20°C på de mildeste dagene. Ved å øke maksimal luftmengde eller maksimal tilluftstemperatur vil dette kunne løses.

Figur 34 som viser temperaturene i aggregatet, har ikke forandret seg mye fra figur 32. Likevel er det synlig at vi tilfører temperaturer på 30°C over lange perioder. I og med at den operative temperaturen ikke kommer opp til ønsket nivå er det tydelig at den tilførte temperaturen er noe lav.

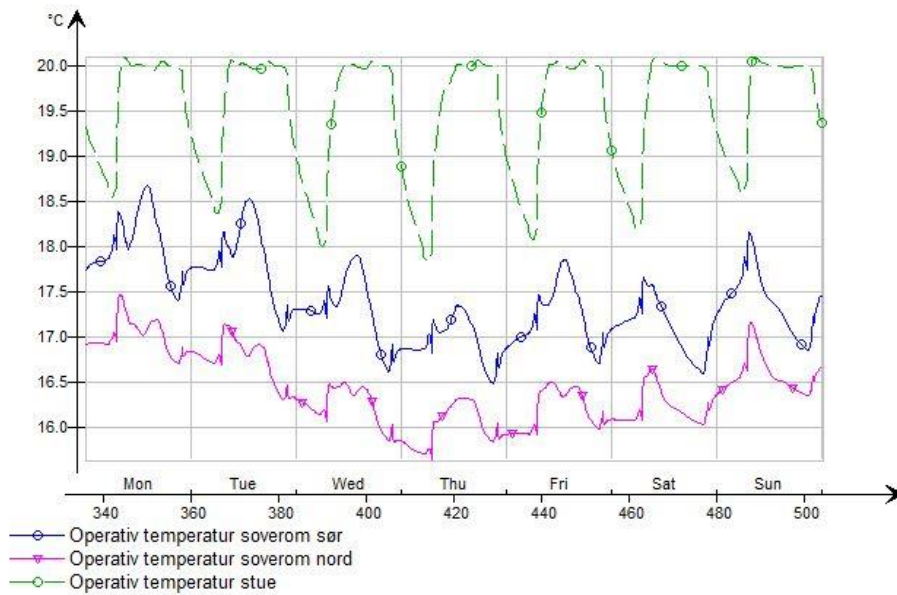


Figur 33: Operativ temperatur forskjellige rom med variabel luftmengde.

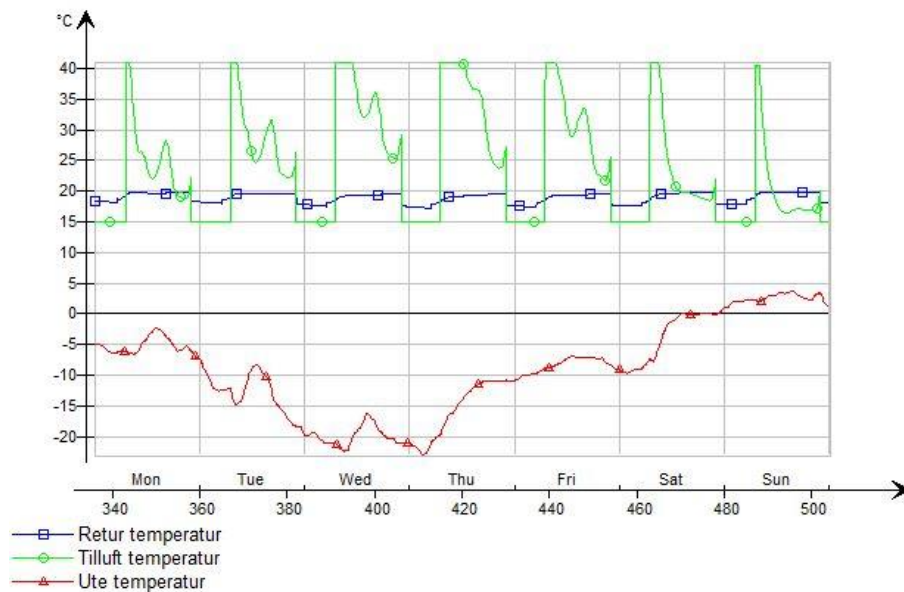


Figur 34: Ute temperatur, tilluftstemperatur og returtemperatur for aggregat med variabel luftmengde.

Økes maksimal tilluftstemperatur opprettholdes de ønskede temperaturene gjennom hele dagen som vist i figur 35. Vi ser også at aggregatet i figur 36 ikke tilfører 40°C hele dagen, men vi får en «boost» effekt om morgenen slik at romtemperaturen skal komme raskt opp til ønsket nivå.



Figur 35: Operativ temperatur forskjellige rom med variabel luftmengde og maks temp på 40°C.

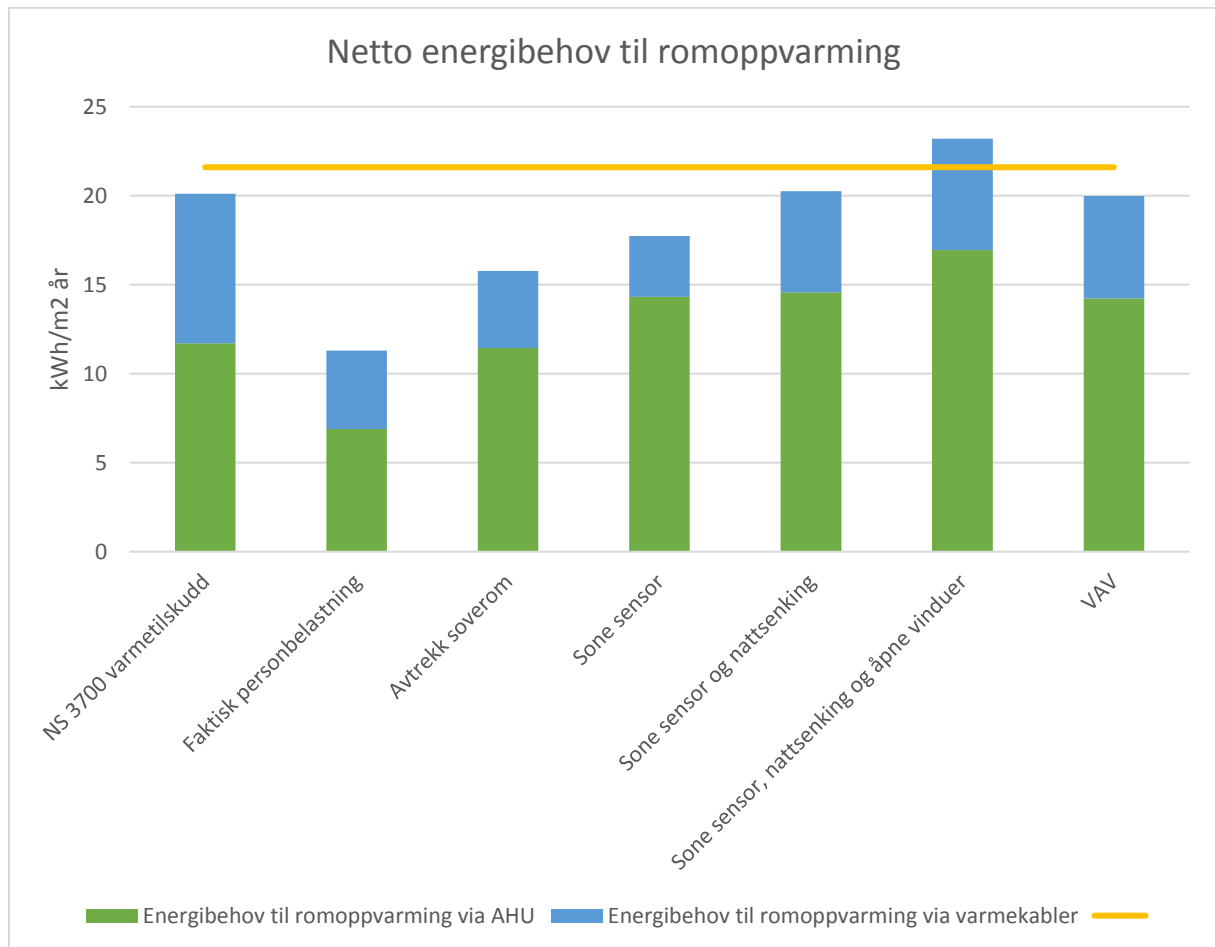


Figur 36: Utetemperatur, tilluftstemperatur og returtemperatur for aggregat med variabel luftmengde og maks temp på 40°C

5.5 Energibruk

For å tilfredsstille kravene til passivhus ble det beregnet at totalt energibehov til romoppvarming for den aktuelle boligen plassert i Oslo klima måtte være under 21,6kWh/m² år. I IDA ICE er det kjørt en energisimulering over året for de forskjellige løsningene. Dette for å se på forskjellene i energibruk. Det er tatt hensyn til varmekablene i gulvet i bad og toalettet, i tillegg til energien varmebatteriet bruker til oppvarming av tilluft. Vi vil i tillegg til dette ha

gjenvinning av varmen fra varmeveksleren, men denne er ikke vist i figur 37 da det ikke skal tas med i beregningen for energibehov til romoppvarming.

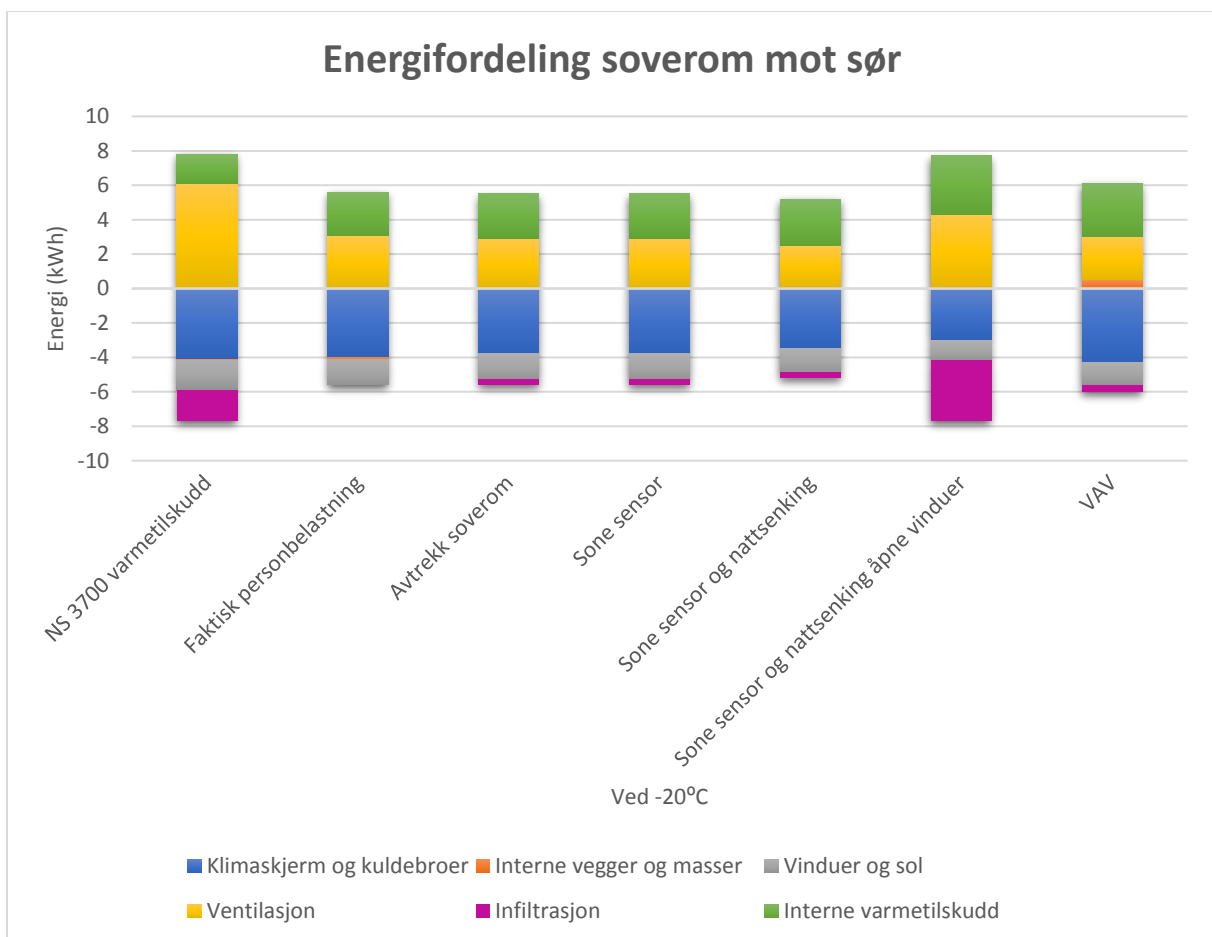


Figur 37: Netto energibehov til romoppvarming.

Alle løsningene med unntak av en oppfylder kravet til maksimalt energibehov til romoppvarming. Det er tydelig at energibehovet øker når det innføres avtrekk i soverommene. Grunnen er at soveromstemperaturen synker, og vi vil få en lavere temperatur i avtrekksluften. Dette gjør at temperaturen ut av varmeveksleren er lavere, og varmbatteriet må varme opp luften i en høyere grad. Naturlig nok øker energibehovet parallelt med dette. Når temperatursensoren flyttes fra avtrekket til stuen øker energibehovet ytterligere. Dette fordi den operative temperaturen i stuen skal holdes på 20°C hele tiden i kontrast med kun avtrekkstemperaturen. Ved innføring av nattsenking øker energibehovet til varmekablene. Når romtemperaturen senkes i rommene via ventilasjonsoppvarming og setpunktet for oppvarming i badet fortsatt er den samme, vil varmekablene ta over for den tapte oppvarmingen fra tilluft. Varmekablene kunne i teorien også vært en del av nattsenkingen, men i denne oppgaven er

dette ikke tatt med i betraktning. Når vinduene åpnes over en kort periode om kvelden vil mye av varmen gå tapt her. Naturlig nok vil energibehovet øke for å varme opp rommene med for lav temperatur. Ved innføring av et anlegg med variable luftmengder synker ikke energibehovet i stor grad sammenlignet med energibehovet vi så ved nattsenking. Vanligvis er det ønsket om å senke energibehovet som gjør at man velger variable luftmengder. I dette tilfellet ble variable luftmengder innført for å senke temperaturen i soverom.

Det er gjort simuleringer for det største soverommet som viser energifordelingen mellom seks forskjellige poster. En statisk utetemperatur på -20°C er brukt over en 24 timers periode.



Figur 38: Energifordeling soverom mot sør ved statisk utetemperatur på -20°C over 24 timer.

Figur 38 viser at energien som går tapt gjennom klimaskjermen, vinduene og via infiltrasjon må dekkes av det interne varmetilskuddet og oppvarming via ventilasjon. I og med at temperatursensoren for operativ temperatur er plassert i stuen vil det ikke være et krav til hvor

varmt det skal være i soverommene. Med nattsinking vil tilluftstemperaturen være lavere om natten, noe som gjør at energibehovet til oppvarming via tilluft blir minst her.

6 Diskusjon

I kapittel 5, resultat, er det presentert flere forskjellige metoder for å senke natttemperaturen i soverommene presentert om natten. Tre rom har blitt fokusert på i simuleringene. Hovedfokuset har ligget på å senke temperaturen i det største soverommet som er beregnet til to personer, i tillegg til å opprettholde en god termisk komfort i stuen med høye nok temperaturer om dagen. Det minste soverommet som er vendt mot nordsiden av bygget er også vist i grafene. Dette soverommet har i alle simuleringene hatt en lavere operativ temperatur sammenlignet med det store rommet, og problemet med høye temperaturer her har underveis bedret seg parallelt med det store soverommet. Grunnen er fordi dette soverommet er mindre, og kun beregnet til en person. Dermed vil de interne varmetilskuddene fra personer også være mindre, i tillegg til at luftmengdene her er halvert sammenlignet med det store soverommet. Huset består av enda et soverom, også plassert på sørsiden, som ikke er vist i simuleringene.

I tillegg til det som er vist i resultatene er det gjort simuleringer med solskjerming i det største soverommet vendt mot sør. Dette for å se om temperaturene i de to rommene da ville jevne seg ut. Om vinteren vil solinnslippet om dagen være mindre enn det vi opplever i sommerhalvåret. I og med at fokuset har ligget på vinterhalvåret ga ikke solskjermingen stort utslag på temperaturene, og det er derfor unaturlig at dette har noe med de høye temperaturene å gjøre.

I de første simuleringene så vi at de interne varmetilskuddene har en stor innvirkning på soveromstemperaturene. Varmetilskuddene gitt i NS 3700 sier at personene i rommet skal være til stede 24 timer i døgnet. Når lys og utstyr ble skrudd av kl. 22 hver dag var det tydelig at ventilasjonen måtte ta over for denne tapte oppvarmingen, og temperaturene ble derfor meget høye om natten.

Innføring av faktisk personbelastning for å se nærmere på problemet med høye temperaturer i soverommene om natten var høyst nødvendig. Dette for å få et reelt bilde over hvordan situasjonen faktisk er.

Den første hypotesen presentert i kapittel 3 tok for seg en ugunstig utforming av ventilasjonsanlegget der det ikke gis rom for soning av soverommene i boligen. Som diskutert i litteraturstudiet har det i flere studier tidligere blitt testet ut om isolering av de innvendige veggene til soverommene vil hjelpe på temperaturene. Det har vist seg at bedring av u-verdien opp til en viss grad har vært en viktig faktor, men at termisk treghet også spiller en rolle. I denne oppgaven er det valgt å bruke en konstruksjon med bindingsverk av tre. Påvirkningen på temperaturene med tanke på konstruksjonens termiske egenskaper har derfor ikke blitt testet.

I dette studiet ble det brukt isolering i veggene fra første simulering, i tillegg ble avtrekk i soverom introdusert tidlig. Et interessant aspekt ved å innføre avtrekk i soverom var at selv om vi hadde samme styringsstrategi på aggregatet fikk vi et dropp i temperaturen i soverommene. I alle simuleringene i denne oppgaven er soveromsdørene lukket, og ved å ha disse åpne ville nok situasjonen blitt annerledes. Med åpne dører ville luften blandet seg mye mer og vi ville ikke oppnådd samme soning av rommene som det vi gjorde her. Grunnen til at temperaturen droppet er fordi luften fikk en enklere vei til avtrekket enn det den gjorde når vi ikke hadde avtrekk i soverom. Tidligere måtte den transporteres til våtrommene eller kjøkken via spalten i døra. Når avtrekk i soverom ble innført økte også luftmengdene i stuen slik at anlegget fortsatt skulle være balansert. For å øke temperaturene i et rom kan man enten øke temperaturen på tilluften eller øke luftmengdene for å oppnå samme resultat. Da luftmengdene ble økt med tanke på balansering var det naturlig at også temperaturene i stuen økte. Selv om dette ikke var grunnen til innføring av avtrekk i soverom var det likevel et ønsket resultat.

En annen potensiell løsning på soning av rommene ville kanskje være å fjerne spalten for luftgjennomstrømning over eller under døren i soverommene, i tillegg til innføring av avtrekk. En høyere grad av isolering fra resten av huset ville muligens ha funnet sted. I dette huset lå soverommene delvis vegg i vegg med hverandre, men ikke på samme side av bygget. Kanskje det ville vært jevnere og lavere temperaturer hvis rommene hadde ligget samlet på samme side av huset?

I studiet (Holte, 2013) ble det i likhet med dette studiet gjort simuleringer med senkning av tilluftstemperaturen om natten. For å underbygge funnene i hennes oppgave ble det gjennomført en simulering med nattsenkning før avtrekk ble introdusert. Dette ble ikke presentert i resultatdelen, men er verdt å nevne her. Som forventet oppnår vi lavere temperatur i soverom om natten. Den er likevel høyere enn ønsket, og differansen mellom soverom og stue er mye mindre enn den vi ser i senere resultater i denne oppgaven.

Diskusjoner rundt nattsenkning fører oss videre inn til den andre hypotesen som ble presentert i kapittel 3. De første simuleringene som ble gjennomført ble gjort med et returtemperaturstyrt aggregat. Selv om vi fokuserer på lave soveromstemperaturer er det også viktig at den operative temperaturen i stuen opprettholdes på et akseptabelt nivå om dagen. Når temperatursensor for operativ temperatur i stuen ble introdusert strebet aggregatet etter å levere tilluftstemperaturer slik at stuen hele tiden skulle holde 20°C. Dette resulterte i en mer stabil temperatur i stuen fremfor en fluktuerende. Det ble også nevnt i resultatene at plassering av denne sensoren på det

store soverommet ville gitt en ujevn temperatur i stuen. Ved denne plasseringen ville også setpunktet vært lavere da soveromstemperaturene er ønsket under 18°C. Uten at det er vist i resultatene ble dette testet. Som forventet fikk vi for lave temperaturer i stuen mens soveromstemperaturene fortsatt ble for høye om natten. Å plassere sensoren i stuen for å ha kontroll på den operative temperaturen her ble derfor funnet som den beste løsningen. Problemet med høye soveromstemperaturer måtte derfor løses på annen måte.

Studiet (Holte, 2013) undersøkte som nevnt nattsenking i alle rom fra brukerne legger seg om kvelden til de står opp om morgenen. Det ble funnet at brukerne opplevde temperaturen i de øvrige rommene noe lav om morgenen, men dette uten avtrekk i soverom. Det er ventet at temperaturen i soverom vil øke om dagen når nattsenking blir innført, men synke om natten. Ideen med å holde dørene i soverommene lukket også om dagen vil gjøre at temperaturene her holder seg på et lavere nivå når det interne varmetilskuddet fra personer blir borte om dagen. I tillegg til de interne varmetilskuddene fra personer kunne man også gjort en mer realistisk beregning av varmetilskuddene fra lys og utstyr. I realiteten har man sjelden lys i soverommet når det ikke er i bruk. Det ble brukt samme timeplan for lys og utstyr gjennom alle simuleringene, og varmetilskuddet fra disse ville blitt mindre hvis de hadde vært mer realistiske. Vi så at temperaturen i soverom om dagen holdt 0,5-1°C lavere enn i stuen. Dette var forventet. Disse ville kanskje vært enda lavere hvis varmetilskuddet fra lys og utstyr hadde blitt fjernet.

Flere barnefamilier bruker muligens soverom om dagen til for eksempel lekselesing. Man kunne ha sett på en løsning der soveromsdørene stod åpne om dagen, og ble lukket om kvelden. Dette vil gjøre at luftstrømningene mellom rommene blir større, og at de lave soveromstemperaturen ville jevnet seg mer ut i likhet med stuetemperaturen. Her kommer vi litt inn på den tredje hypotesen i kapittel 3. Mennesker er forskjellige. En temperatur noen synes er komfortabel er ikke nødvendigvis komfortabel for en annen. Det samme med brukervaner. Enkelte ønsker å ha dørene åpne, mens andre ikke. En robust løsning som passer for alle er derfor vanskelig å oppnå.

Personlig har jeg alltid soveromsdørene lukket hjemme, men ofte har jeg sett at de står åpne hos andre. Kan man pålegge en familie som ønsker å bruke tilluft som oppvarmingskilde å alltid ha dørene lukket?

I tillegg til nattsenking ble det også laget en timeplan der et av vinduene i soverommene ble åpnet en time før brukerne antas å skulle legge seg. Dette er en løsning som blir brukt i flere husstander i dag, og er muligens en god løsning. Som ventet ble temperaturene lave, og holdt

seg på et lavt nivå gjennom hele natten ved hjelp av nattsenkingen. Med tanke på energibruken til oppvarming slo dette derimot negativt ut. Løsningen med å åpne vinduene i en time om kvelden gav et høyere energibruk enn alle de andre simuleringene, noe som også var forventet. Selv om temperatursensoren er plassert i stuen og dørene er lukket inn til soverommene vil det likevel bli en lekkasje av kald luft til de andre rommene som må dekket med høyere tilluftstemperaturer.

Den fjerde og siste hypotesen fra kapittel 3 tar for seg muligheten ved å bruke variable fremfor konstante luftmengder i boligen. I simuleringene ble dette gjort i kombinasjon med nattsenking. Ideen var å redusere luftmengdene i soverommet om dagen slik at graden av oppvarming når nattsenkingen ikke lengre er tilstede ville være mindre. Flere tidligere studier har påpekt at variable luftmengder kan være et godt alternativ til konstante luftmengder. Dette for å løse problemet med høye soveromstemperaturer om natten. Det var forventet at temperaturene ville synke enda mer ved innføring av VAV. I tillegg er det ønskelig å redusere energibruken, noe en løsning med variabel luftmengde vil gjøre i vanlige tilfeller. Sammenlignet med den originale løsningen ved bruk av konstante luftmengder ble ikke en markant forbedring i energibehovet funnet. Selv om vi har lavere luftmengder om natten i de øvrige rommene og tilsvarende i soverommene om dagen må rommene fortsatt varmes opp. I tillegg så vi at det ikke var tilstrekkelig med en maksimal tilluftstemperatur på 30°C, den måtte høynes til 40°C for å dekke oppvarmingen i stuen om dagen. Når det er sagt vil dette redusere energibruken til vifter i aggregatet. Det totale energibehovet vil mest sannsynlig minke, men her snakker vi om oppvarming. Derfor kan man ikke ved disse funnene konkludere at VAV vil redusere energibehovet betydelig.

Temperaturen i soverom ble lavere enn de vi så ved bruk av kun nattsenking. Den ble faktisk redusert med 1.5°C på det meste. Vi så også at den operative temperaturen i soverommene varierte mye mer med utetemperatur. På de kaldeste dagene var temperaturen lavest, og noe høyere på de varmeste dagene. Vi oppnådde under hele den simulerte uken temperaturer under 18°C i begge soverommene i tillegg holdt stuetemperaturen seg på 20°C om dagen. Om dette droppet i soveromstemperatur er nok til å investere i et anlegg med variable luftmengder fremfor konstante er likevel et spørsmål man må stille seg.

7 Konklusjon

De forskjellige løsningene for hvordan man kan minke problemet med høye soveromstemperaturer om natten i passivhus ved bruk av tilluft som oppvarmingskilde har blitt presentert og diskutert i de foregående kapitlene. Oppgaven har basert seg på å bruke de beste funnene fra tidligere studier gjort på området. Dette i kombinasjon med hverandre for å finne gode retningslinjer på hvordan man bør gå frem for å finne en fungerende løsning.

Gjennom simuleringene er det funnet at interne varmetilskudd har stor betydning for hvilke temperaturer man opplever i forskjellige rom. Å kartlegge den faktiske bruken av boligene er derfor en viktig faktor for å få korrekte resultater. Dette er som beskrevet i diskusjonen en vanskelig oppgave med tanke på at vi mennesker er forskjellige. Selv om det faktiske interne varmetilskuddet fra belysning og utstyr ikke er tatt hensyn til i like stor grad som det for personbelastning vil også disse være av betydning. Likevel finner vi fra energibalansen for interne varmetilskudd at det fra personer helt klart har den største påvirkningskraften av de tre.

Bruk av ventilasjonsanlegget til generell oppvarming har blitt praktisert tidligere med gode resultater, spesielt i kontorbygg. Problemet med at brukerne tyr til å åpne vinduene for å senke soveromstemperaturen har likevel vist seg å være til stede. Resultater fra simuleringene i denne oppgaven viser at det er mulig å senke soveromstemperaturen uten å måtte åpne vinduene. Ved innføring av avtrekk i soverom i tillegg til nattsinking vil vi få akseptable temperaturer ved bruk av konstante luftmengder. Det ble også demonstrert at soveromstemperaturen når et enda lavere nivå når vinduene åpnes over en kortere periode før brukerne legger seg om kvelden. Disse resultatene demonstrerer dagens tilfelle både med tanke på temperatur og energibruk. Temperaturen blir lavere, men på bekostning av et høyere energibruk.

Til forskjell fra tidligere forskning ble det i denne oppgaven kartlagt fordeler ved et anlegg med variable- fremfor konstante- luftmengder. Ved å variere luftmengdene i soverommet til det minimale om dagen og tilsvarende for oppholdsrom om natten, fikk vi mindre variasjoner i temperaturer sammenlignet med et CAV anlegg. Dette resulterte i at soverommene holdt en lavere temperatur om dagen ved bruk av VAV. Utgangspunktet før nattsinkingen inntraff var derfor bedre, og temperaturen gjennom natten holdt seg hele 0,5-1,5°C lavere kontra ved konstante luftmengder. Til sammenlikning er effekten ved bruk av VAV noe lik den vi oppnår ved åpning av vinduene før brukerne legger seg.

Både bruk av nattsinking til et anlegg med konstante luftmengder og variable luftmengder er gode løsninger på problemet. Det hele handler om man er villig til å putte ekstra penger i et

VAV anlegg når forskjellene i temperatur ikke er større en 0.5-1,5°C. Løsningen med variable luftmengder bør undersøkes til en større grad enn det som er gjort i dette studiet for å finne potensielt flere fordeler ved å installere et slikt anlegg. Generelt ved bruk av tilluft som oppvarmingskilde er kostnaden ved installering av et separat anlegg til oppvarming spart. En LCC-analyse av de forskjellige løsningene bør gjennomføres for å sette kostnadene opp mot hverandre.

Et annet aspekt som ikke er tatt i betraktning her er bruken av tykke dyner om vinteren. I Norge bytter vi gjerne dyner fra sommer til vinter, og vinterdynene er mye tykkere enn sommerdyner. Hvis vi i disse passivhusene kunne brukt sommerdyner hele året ville vi kanskje ha tillatt en høyere soveromstemperatur enn ved bruk av vinterdyner?

I dette studiet har man sett på en bestemt uke med spesielt lave temperaturer og lite solinnslipp. Både utetemperatur og stråling fra solen vil forandre seg i løpet av året, og dette har innvirkning på hvilken temperatur vi vil oppleve i soverommet. De to forskjellige soverommene som ble referert til i resultatene ligger på hhv. nord og sørsiden av bygget. Det ble gjort simuleringer med solskjerming i det sørvendte soverommet, men grunnet lav stråling om vinteren gav dette ingen forskjeller i operativ temperatur. Om våren og sommeren vil det ha en større innvirkning, og en planløsning der vinduer i soverom plasseres mot nord vil være lurt.

7.1 Forslag til videre arbeid

Forskjellene i brukervaner med tanke på åpne og lukkede dører ble ikke sett på i stor nok grad til å konkludere med at lukkede dører er en løsning som vil fungere for alle. Ved å gjøre faktiske og realistiske undersøkelser i et konkret passivhus der brukerne er tilstede vil man kunne se om det fungerer i praksis. I tillegg vil bruk av soverom variere i husstandene. Enkelte vil bruke soverom til for eksempel kontor eller oppholdsrom, og da må temperaturen være høyere enn funnet i denne oppgaven. Et panel der brukerne selv kan stille inn hvilke rom som skal brukes til oppholdsrom og soverom vil være en god løsning.

For å gjøre løsningen enda mer robust for alle husholdninger er det også mulig å se på bruken av lokale varmebatterier plassert i tilluftskanalen for eksempel i stuen. Dette vil gjøre at vi kan ha en lav generell tilluftstemperatur i aggregatet og fortsatt varme opp luften som går inn i stuen tilstrekkelig for å oppnå en høyere operativ temperatur her.

Som nevnt i kapittel 2.3 har Berge et.al. (Magnar Berge, 2016) sett på mulighetene for å lede noe av luften utenom varmebatteriet, kun gjennom varmeveksleren. I IDA ICE må dette

simuleres ved hjelp av to aggregater. Det ene gir luft til soverommene, og det andre til oppholdsrom. Dette ble simulert i studiet til Berge et.al. men uten bruk av avtrekk i soverom. Å oppnå realistiske resultater når avtrekk i soverom er tilstede vil være vanskelig. Vi får da to ulike avtrekkstemperaturer som må blandes sammen før luften føres gjennom varmeveksleren for å få realistiske temperaturer. I IDA ICE ble dette komplisert å gjennomføre. Likevel vil det potensielt være en god løsning, men det bør testes i en reell bolig.

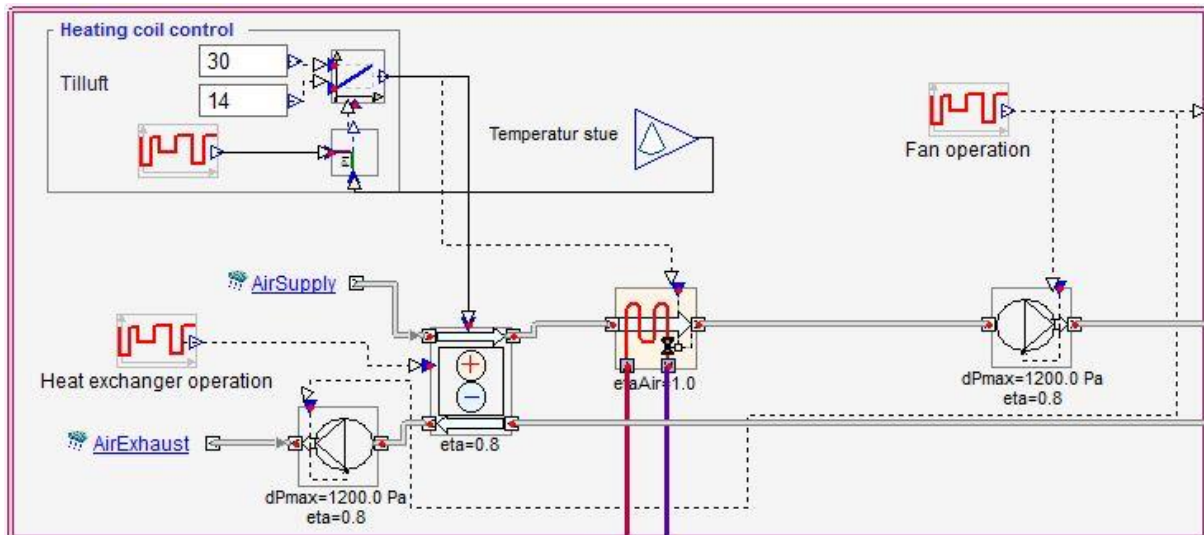
8 Referanser

- AB, E. S. (u.d.). *EQUA*. Hentet fra <https://www.equa.se/en/ida-ice>
- B.V., E. (u.d.). *ScienceDirect*. Hentet fra ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>
- Dalen, B. H. (2013). *Ta hjemmetempen*. Oslo-Kongsvinger: Statistisk sentralbyrå.
- Direktoratet for byggkvalitet. (u.d.). Hentet fra <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/13/>
- Direktoratet for byggkvalitet. (2017). *Direktoratet for byggkvalitet*. Hentet fra <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/13>
- Exhausto. (u.d.). *Exhausto AS*. Hentet fra <https://www.exhausto.no/prosjektering/Working%20-%20Kontorventilasjon/Design%20af%20system/Styringsprinsipper/CAV>
- Google. (u.d.). *Google*. Hentet fra Google: <http://www.google.com>
- Google. (u.d.). *Google Scholar*. Hentet fra Google Scholar: <http://www.google.com>
- Holte, M. N. (2013). *Varmeluftsoppvarming av boliger*. Trondheim: Norges tekniske - naturvitenskapelige universitet.
- Ingebrigtsen, S. (2016). *Ventilasjonsteknikk del 1*. Oslo: Skarland press.
- Ingebrigtsen, S. (2016). *Ventilasjonsteknikk Del 2*. Oslo: Skarland Press AS.
- Magnar Berge, L. G. (2016). *On the oversupply of heat to bedrooms during winter in highly insulated dwellings with heat recovery ventilation*. Elsevier Ltd.
- Mesterhus. (u.d.). *Mesterhus*. Hentet fra <https://www.mesterhus.no/bygge-hus/nora>
- Norsk Standard. (2014). *NS-EN 15251 Inneklimaparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse*. Oslo: Norsk Standard.
- Passive House Institute. (u.d.). *Passipedia*. Hentet fra Passipedia: https://passipedia.org/basics/the_passive_house_-_definition
- Selvnes, E. (2017). *Thermal zoning during winter in super - insulated residential buildings*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.
- SINTEF Byggeforsk. (2012). *472.435 Passivhus i tre*. Oslo: SINTEF Byggeforsk.

- SINTEF Byggforsk. (2015). *Byggedetaljer 552.303. Balansert ventilasjon i småhus.*
- SINTEF Byggforsk. (2017). *Byggedetaljer 552.301. Ventilasjon av boliger. prinsipper.*
- Standard Norge. (2005). *ISO 7730:2005, Ergonomi i termisk miljø .* Oslo: Standard Norge.
- Standard Norge. (2012). *NS 3701:2012 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger, Yrkesbygninger.* Oslo: Standard Norge.
- Standard Norge. (2013). *NS 3700:2013 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger, Boligbygninger.* Oslo: Standard Norge.
- Standard, N. (2013). *NS 3700:2013, Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Boligbygninger.* Lysaker: Standard Norge.
- Thunselle, K. (2016). *SINTEF FAG 38, Oppvarming via tilluft.* Oslo: SINTEF akademiske forlag.

9 Vedlegg

A. Nattsenking



Name:

Rules:

All days: 20 [7-22], 15 otherwise

Data for selected rule:

Daily schedule

Time (h)	Temperature (°C)
0	15.0
3	15.0
6	15.0
7	20.0
12	20.0
15	20.0
18	20.0
21	20.0
22	15.0
24	15.0

Valid days

Mon Wed Fri Sun
 Tue Thu Sat

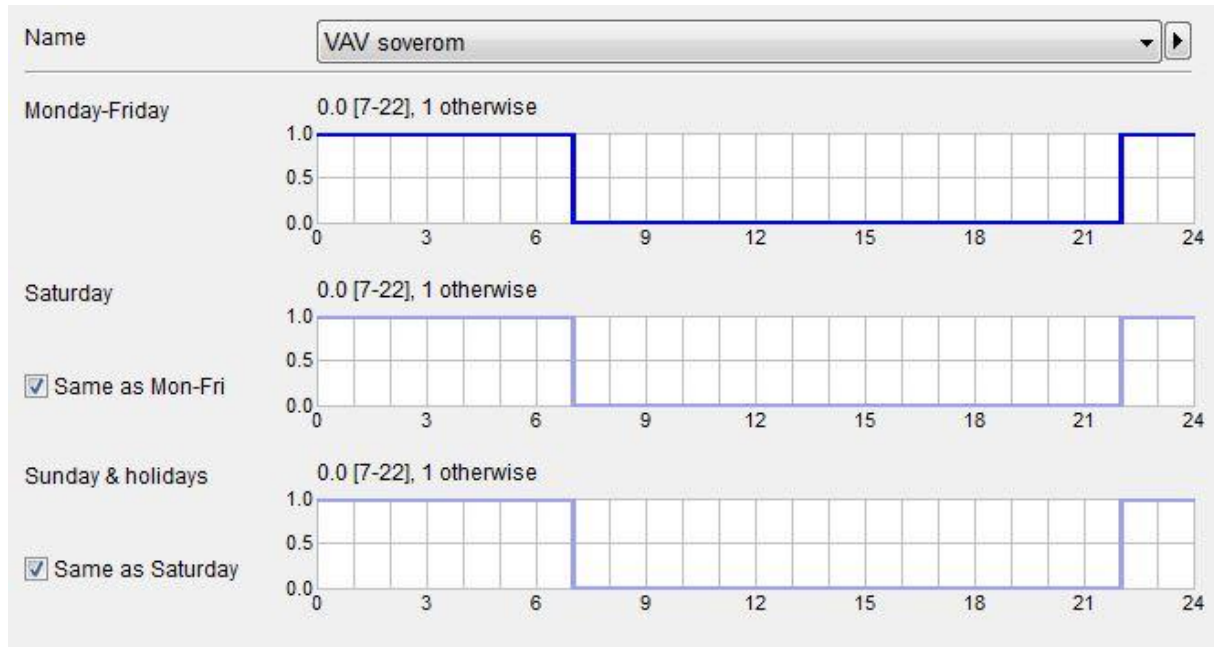
Holidays

Start date:

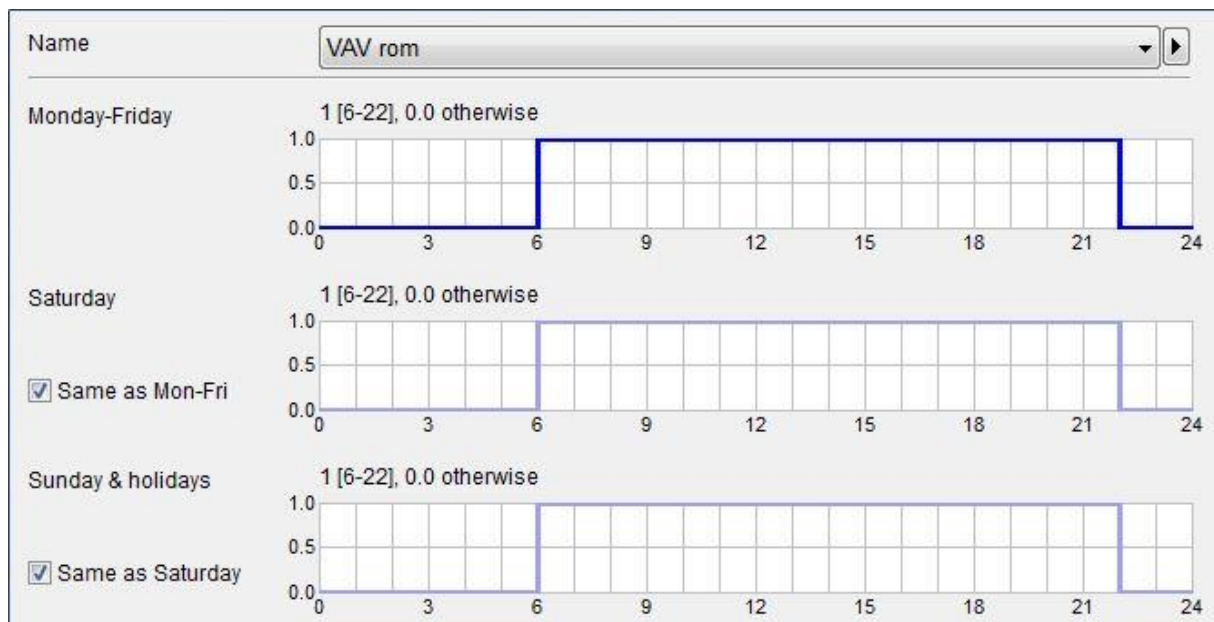
End date:

B. Timeplan VAV

Soverom

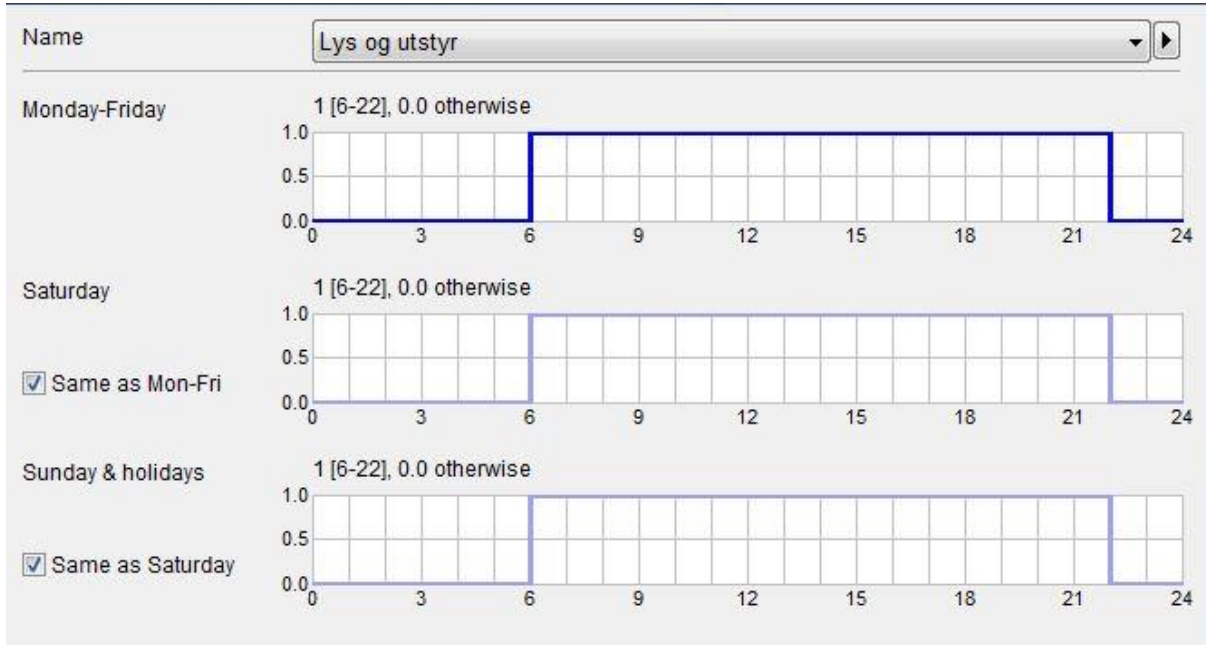


Øvrige rom

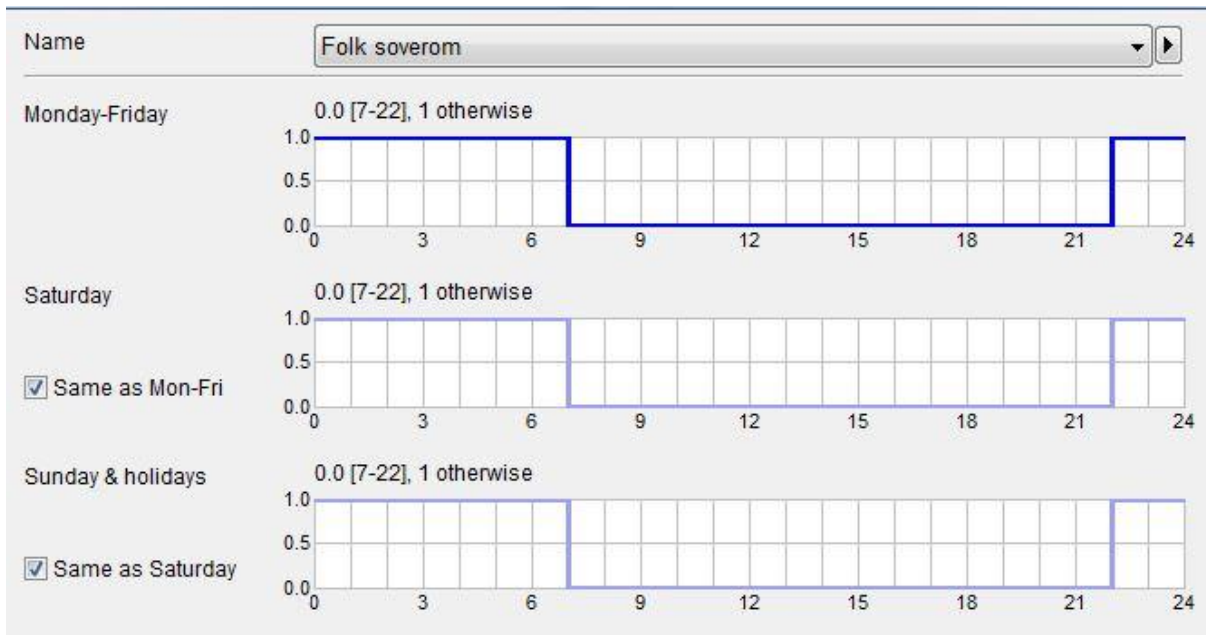


C. Timeplaner

Lys og utstyr



Personer soverom



Personer øvrige rom

