



# Klimatisering av omsorgsboliger

**Magnus Kolberg Eriksen**

Master i energi og miljø

Innlevert: september 2014

Hovedveileder: Hans Martin Mathisen, EPT

Medveileder: Dag Sverre Johnsen, Ingénia AS

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for energi- og prosesseteknikk



EPT-M-2014- 30

**MASTEROPPGAVE**

for

Student Magnus Kolberg Eriksen

Våren 2014

**Klimatisering av omsorgsboliger***Climatization of assisted living homes***Bakgrunn og målsetting**

I oppgaven skal energieffektiv ventilasjon for "omsorgsbolig +", altså små leiligheter med tilbud om assistert omsorg/hjelp studeres. All teknikk i disse boligene automatiseres som i et "smarthus". Oppgaven er knyttet til et pågående prosjekt hos firmaet Ingenia AS og er rehabilitering av et eksisterende bygg.

Ingenia beskriver problemstillingen slik:

"I det reelle prosjektet er styring av ventilasjon ført ned på romnivå med forsering både ved bruk av bad og kjøkken - hvor det er totalt 4 vav enheter pr leilighet styrt av temperatur/CO<sub>2</sub>, luftfuktighet(bad) og ventilator(kjøkken). Vi ser at kostnaden til styring neppe noen gang lar seg forsvare økonomisk og ønsker derfor å belyse enklere løsninger med tid/sone/gode ideer mottas.

En start på oppgaven kan derfor være å vurdere hvilke alternativer som er mulige fra det helt enkle til det mest komplekse."

Opgaven er en videreføring av prosjektoppgaven.

Kontaktperson hos Ingenia er Dag Sverre Johnsen.

**Mål**

Målet med oppgaven er å vurdere og å utvikle forslag til energieffektive og kostnadseffektive løsninger for behovsstyrt ventilasjon og klimatisering for omsorgsleiligheter. Verktøyet IDA ICE skal brukes til vurdering av løsningene.

## Oppgaven kan bearbejdes ut fra følgende punkter

1. Videreføring av litteraturundersøkelsen påbegynt i prosjektoppgaven. Særlig interessant er litteratur som direkte omhandler innekljma tilpasset eldre mennesker og klimatisering av små enheter.
2. Beskrivelse og gjennomgang av alternative tekniske løsninger for ventilasjon og klimatisering. Det kan gjerne hentes inn forslag til løsninger fra ulike leverandører. Også løsninger for solavskjerming inkluderes. Kostnader for ulike løsninger sammenlignes.
3. Innhente data om reelle brukerprofiler, dvs hvordan leiligheter av denne typen blir brukt av beboerne. Dette omfatter tilstedeværelse, temperaturer, vindusluffing osv.
4. Innhente data fra driftspersonale som har erfaring med denne type boliger. Om måledata er tilgjengelig på romnivå kan gjerne slike innhentes. Egne målinger kan også vurderes. Eventuelle målinger brukes som underlag for simuleringer.
5. Videreutvikle simuleringmodellen utarbeidet i prosjektet slik at simuleringene blir mest mulig realistiske.
6. Det gjennomføres simuleringer med hensyn til termisk og atmosfærisk innekljma samt energibruk og effektbehov. Det tas hensyn til brukerprofiler og ulike løsninger.
7. Vurdere de ulike løsningene i forhold til hverandre.
8. Rapportering

” - ”

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

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

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

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

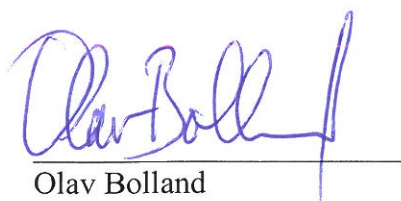
Risikovurdering av kandidatens arbeid skal gjennomføres i henhold til instituttets prosedyrer. Risikovurderingen skal dokumenteres og inngå som del av besvarelsen. Hendelser relatert til kandidatens arbeid med uheldig innvirkning på helse, miljø eller sikkerhet, skal dokumenteres og inngå som en del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

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

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

- Arbeid i laboratorium (vannkraftlaboratoriet, strømnings teknisk, varmeteknisk)  
 Feltarbeid

NTNU, Institutt for energi- og prosess teknikk, 14. januar 2014



Olav Bolland  
Instituttleder



Hans Martin Mathisen  
Faglig ansvarlig/veileder

Medveileder: Dag Sverre Johnsen



## **Forord**

Dette er en masteroppgave gjennomført ved Institutt for energi- og prosessteknikk ved NTNU. Arbeidet er utført med Professor Hans Martin Mathisen som hovedveileder og Dag Sverre Johnsen ved Ingénia AS som medveileder. Jeg vil gjerne takke dem begge for hjelp, gode innspill og oppfølging i løpet av arbeidsprosessen. Spesielt vil jeg rette en takk til Ingénia AS for å gi meg muligheten til å studere en reell og spennende case. Jeg vil også takke alle medarbeidere i Ingénia AS for å ha tatt meg godt i mot i deres flotte kontorlokaler i Oslo.

Magnus Kolberg Eriksen

Oslo, 23.09.2014

## Sammendrag

Energieffektive bygninger er i økende grad et tema. Ventilasjon står for en signifikant del av energibruken i moderne bygninger. For å svare på moderne krav til energieffektive bygninger benyttes behovsstyrt ventilasjon oftere ikke bare i bygg med store luftmengdebehov, som skoler og idrettsanlegg, men også i boliger. Behovsstyrte ventilasjonsanlegg er mer avanserte og komplekse enn konvensjonelle anlegg for boliger, med konstante luftmengder. Avansert automatikk, som sensorer og regulatorer, medfører økte kostnader. For små boenheter med relativt små luftmengder er det usikkert hvorvidt behovsstyring av ventilasjonen er økonomisk forsvarlig. Det er også knyttet usikkerhet til hvorvidt behovsstyring av ventilasjonen er energibesparende i forhold til konvensjonelle anlegg, for små boenheter med nærmest konstant brukstid, slik som boenhetene denne oppgaven omhandler – omsorgsboliger.

Målet med denne masteroppgaven er å vurdere og å utvikle forslag til energieffektive og kostnadseffektive løsninger for behovsstyrt ventilasjon og klimatisering av omsorgsboliger. Masteroppgaven er skrevet i samarbeid med det rådgivende ingeniørkontoret Ingénia AS i Oslo. Oppgaven tar for seg et eksisterende prosjekt hos Ingénia AS, omsorgsboligsenteret på Ljabrubakken på Ekeberg i Oslo. Dette bygget totalrehabiliteres til passivhusstandard. Det skal installeres et avansert behovsstyrt ventilasjonsanlegg med styring etter CO<sub>2</sub> og temperatur, med totalt 4 VAV-enheter i hver omsorgsleilighet. Ingénia mener dette neppe lar seg forsvare økonomisk og ønsker å belyse enklere løsninger som er egnet for små boenheter og tilrettelagt for brukergruppen med eldre og pleietrengende mennesker.

Denne oppgaven studerer tre ulike klimatiseringsmetoder med ulik grad av kompleksitet. Én løsning med konstante luftmengder (CAV – *Constant Air Volumes*), én kombinert løsning med variable luftmengder (VAV – *Variable Air Volumes*) regulert av et tidsur-styrt spjeld i en del av leiligheten samt konstante luftmengder (CAV) i en annen del, og én behovsstyrt løsning (DCV – *Demand Controlled Ventilation*) med styring etter CO<sub>2</sub> og temperatur. Løsningene vurderes etter energieffektivitet, kostnadseffektivitet i et livsløpsperspektiv og hvor godt de møter krav satt til inneklimateiske forhold.

Det utføres et litteraturstudium som tar for seg bakgrunn for de ulike klimatiseringsløsningene samt forskningslitteratur spesielt omhandler inneklimate tilpasset eldre og pleietrengende mennesker. Beboer- og brukskarakteristikk blir innhentet fra et lignende omsorgsboligsenter i Oslo, da Ljabrubakken omsorgssenter er under rehabilitering. Videre blir drifts- og vedlikeholdskarakteristikk innhentet fra en driftstekniker i Oslo kommune. Årssimuleringer blir utført i simuleringsprogrammet IDA ICE for å studere energibruken til de ulike klimatiseringsløsningene. I forkant av simuleringene blir luftmengder beregnet i henhold til minimumskravene i TEK 10. Det simuleres både med minimumsluftmengder og økte luftmengder fra disse kravene. Kostnadene til de ulike løsningene blir beregnet i et livsløpsperspektiv. Her inngår totale initialkostnader og nåverdberegninger av totale kostnader til energibruk, drift og vedlikehold.

Det blir påvist at DCV verken er energi- eller kostnadseffektivt for denne type boliger, og at en god løsning for klimatisering er en kombinert VAV og CAV-løsning som både er kostnads- og energieffektiv, samt oppnår gode inneklimateiske forhold.



## Summary

Energy efficient buildings are an increasingly important issue. Ventilation accounts for a significant part of the energy usage in modern buildings. To respond to modern demands for energy efficiency, demand controlled ventilation is more frequently used not only in buildings with large air flow requirements, but also in domestic housing. Demand controlled ventilation systems are more advanced and complex than conventional systems commonly used in domestic housing with constant air volumes. Advanced control systems, such as sensors and regulators, mean increased costs. For small homes with relatively small air flow requirements, it is questionable whether demand controlled ventilation is economically viable. Furthermore, it is not certain that demand controlled ventilation is more energy efficient than conventional ventilation systems for small homes with an almost constant usage.

In this master thesis, a special type of small homes, assisted living homes, has been studied. The aim of the thesis is to study and develop different energy efficient and cost efficient solutions for demand controlled ventilation and climatization, suitable for assisted living homes. The master thesis is written in collaboration with the consulting engineering company Ingénia AS in Oslo. The thesis addresses an existing project at Ingénia; the assisted living home complex at Ljabrubakken in Ekeberg, Oslo. The building is rehabilitated according to the passive house standard. An advanced demand controlled ventilation system, controlled by CO<sub>2</sub> and temperature with a total of 4 VAV units in every apartment, is to be installed. Ingénia's concern is that this system will not be economically viable. They want to examine less complex solutions for ventilation suitable for small homes and facilitated for the user groups of elderly and persons with need of care.

The thesis studies three different methods for climatization with a different degree of complexity. One solution with constant air volumes, CAV, one combined solution with variable air volumes controlled by a timer on the VAV damper in one part of the apartment and constant air volumes in another part, and finally a demand controlled solution controlled by CO<sub>2</sub> and temperature. The different solutions have been evaluated by energy efficiency, cost efficiency in a life cycle perspective, and how well they meet requirements set for indoor climatic conditions.

Included in the thesis is a literature research that addresses theory concerning the different solutions, as well as scientific literature concerning indoor climate conditions adapted to suit elderly persons with need of care. Occupant and usage characteristics are provided by a similar assisted living homes centre in Oslo, since Ljabrubakken is currently under construction. Moreover, operating characteristics have been provided by an operating technician working for the municipality of Oslo. Year around simulations are made in the simulation software IDA ICE to examine the energy usage of the solutions. Prior to the simulations, air flows have been calculated according to government requirements in TEK 10. The cost efficiencies of the different solutions are calculated as life cycle costs. It is proven that DCV is neither energy efficient nor cost efficient for this type of housing. A good solution for climatization is a combined VAV and CAV solution that is both cost and energy efficient, and provides a high level indoor climate.

## Innhold

<b>1. Innledning</b> .....	5
1.1 Omsorgsboliger .....	5
1.2 Ljabrubakken omsorgssenter .....	5
1.3 Motivasjon.....	6
1.4 Mål.....	6
1.5 Simuleringsprogrammet IDA ICE .....	8
1.6 Språk.....	8
<b>2. Teori</b> .....	9
2.1 Ventilering av små boenheter .....	9
2.2 Ventilasjon med konstante luftmengder - CAV.....	11
2.3 Variable luftmengder og behovsstyrt ventilasjon - VAV, DCV .....	13
2.3.1 Ventilasjon med variable luftmengder, VAV .....	13
2.3.2 Behovsstyrt ventilasjon, DCV.....	14
2.4 Energieffektive ventilasjonsanlegg.....	16
2.5 Vifter og viftedrift.....	19
2.6 Støyproblematikk og støyproduksjon .....	20
2.7 Inneklima – påvirkning på eldre og pleietrengende mennesker.....	21
2.8 Kostnadseffektivitet og livssyklus-kostnader, LCC.....	23
<b>3. Metode – simuleringer i IDA ICE og kostnadsberegninger</b> .....	24
3.1 Oppbygging og modell av omsorgsleiligheter .....	24
3.2 Bygningsspesifikasjoner og bygningssystemer.....	26
3.3 Beboerkarakteristikk og internlaster.....	27
3.4 Luftmengder og lufttemperaturer.....	29

3.5 Luftfordeling i omsorgsleilighet.....	30
3.6 Valg av klimatiseringsmetoder .....	31
3.7 Støynivå for valgte løsninger .....	32
3.8 Simuleringer i IDA ICE .....	33
3.9 Drift av aktuelle anlegg.....	34
<b>4. Resultater</b> .....	<b>35</b>
4.1 Energiberegninger .....	35
4.1.1 CAV .....	36
4.1.2 VAV/CAV .....	38
4.1.3 DCV .....	40
4.2 Kostnadsberegninger.....	42
4.2.1 Bakgrunn for kostnadsberegninger .....	42
4.1.2 Resultater av kostnadsberegninger.....	43
4.3 Inneklimatiske forhold.....	46
4.4 Sammenligning av de ulike løsningene .....	49
4.5 Valg av klimatiseringsmetode .....	50
<b>5. Diskusjon av simuleringer, resultater og antagelser</b> .....	<b>52</b>
<b>6. Konklusjon og forslag til videre arbeid</b> .....	<b>53</b>
6.1 Konklusjon .....	53
6.2 Forslag til videre arbeid .....	54
<b>Referanser</b> .....	<b>55</b>
<b>Vedlegg</b> .....	<b>57</b>

## Figurer

Figur 1.1: Sydvest-vendt fasade Ljabrubakken [2].....	4
Figur 2.1: Omrøringsventilasjon, prinsipiell skisse[9].....	9
Figur 2.2: Systemskisse CAV-løsning. To tillufts- og avtrekksventiler [11].....	11
Figur 2.3: Systemskisse VAV-løsning, to tillufts- og to avtrekksventiler og VAV-spjeld. Sentralaggregat [11].....	13
Figur 2.4: Systemskisse DCV-løsning. To tillufts- og avtrekksventiler. VAV-spjeld, CO2-sensorer og regulator[12].....	15
Figur 3.1: Plantegning IDA ICE, simulerte leiligheter.....	24
Figur 3.2: Luftfordeling omsorgsleiligheter.....	29
Figur 3.3: Sirkulær tilluftsventil, Systemair.no.....	31
Figur 3.4: Sirkulær avtrekksventil, Systemair.no.....	31

## Tabeller

Tabell 2.1: Kravspesifikasjoner for ventilasjon av boliger, TEK 10 § 13-2.....	8
Tabell 2.2: Krav og kriterium for lydnivå fra tekniske installasjoner i bolig.....	19
Tabell 3.1: Bygningsspesifikasjoner brukt i simuleringer.....	25
Tabell 3.2: Energiforsyning, Ljabrubakken.....	26
Tabell 3.3: Internlaster og beboerkarakterstikk.....	27
Tabell 3.4: Metabolsk rate og isolasjonsgrad.....	27
Tabell 3.5: Luftmengder omsorgsleiligheter.....	28
Tabell 3.6: Avtrekksvolum i bolig, TEK10 [5].....	28
Tabell 3.7: Støynivå tillufts- og avtrekksventiler.....	32
Tabell 3.8: Inputverdier sentralaggregat, IDA ICE.....	32
Tabell 4.1.1: Valgte luftmengder CAV 1.0.....	35
Tabell 4.1.2: Energiberegninger CAV 1.0.....	35
Tabell 4.1.3: Valgte luftmengder CAV 2.0.....	36
Tabell 4.1.4: Energiberegninger CAV 2.0.....	36
Tabell 4.1.5: Valgte luftmengder VAV/CAV 1.0.....	37
Tabell 4.1.6: Energiberegninger VAV/CAV 1.0.....	37
Tabell 4.1.7: Valgte luftmengder VAV/CAV 2.0.....	38

Tabell 4.1.8: Energiberegninger VAV/CAV 2.0.....	38
Tabell 4.1.9: Valgte luftmengder DCV 1.0.....	39
Tabell 4.1.10: Energiberegninger DCV 1.0.....	39
Tabell 4.1.11: Valgte luftmengder DCV 2.0.....	40
Tabell 4.1.12: Energiberegninger DCV 2.0.....	40
Tabell 4.2.1: Beregningsgrunnlag initialkostnader, IC.....	41
Tabell 4.2.2: Levetid og diskonteringsrente.....	42
Tabell 4.2.3: Initialkostnader.....	42
Tabell 4.2.4: Nåverdifaktor, NPV.....	43
Tabell 4.2.5: Energikostnader, drift- og vedlikeholdskostnader.....	43
Tabell 4.2.6: Livsløpskostnader.....	43
Tabell 4.3.1: Kriterier for inneklimatiske forhold.....	45
Tabell 4.3.2: Inneklimatiske forhold, CAV 1.0.....	45
Tabell 4.3.3: Inneklimatiske forhold, CAV 2.0.....	46
Tabell 4.3.4: Inneklimatiske forhold, VAV/CAV 1.0.....	46
Tabell 4.3.5: Inneklimatiske forhold, VAV/CAV 2.0.....	46
Tabell 4.3.6: Inneklimatiske forhold, DCV 1.0.....	47
Tabell 4.3.7: Inneklimatiske forhold, DCV 2.0.....	47
Tabell 4.4.1: Sammenligning av resultater for de ulike løsningene.....	48
Tabell 4.5.1: Gjengitte valgte luftmengder for VAV/CAV 2.0.....	49
Tabell 4.5.2: Gjengitte nøkkeltall for valgte klimatiseringsløsning VAV/CAV 2.0.....	50

## 1. Innledning

### 1.1 Omsorgsboliger

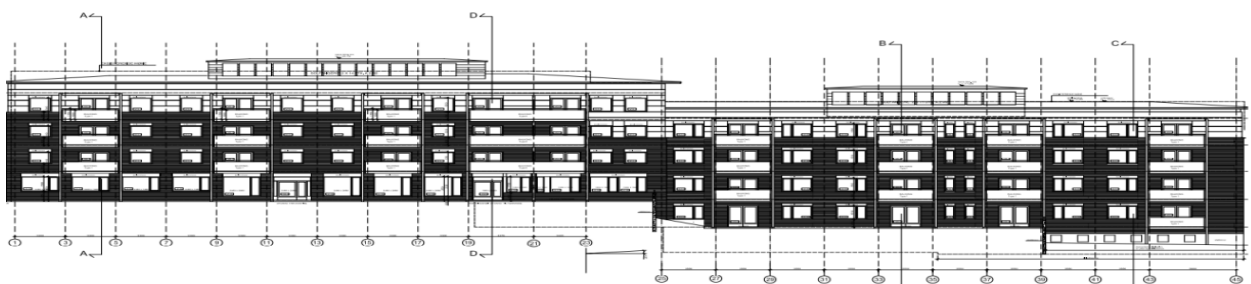
Omsorgsboliger er en boform for personer som trenger pleie og omsorg av ulik grad, og referer ikke til en spesifikk type bolig eller bygningstype. Brukerne er gjerne eldre og funksjonshemmede. SINTEF Byggforsk definerer begrepet omsorgsboliger slik: *Omsorgsboliger er boliger som er tilrettelagt for døgnskategorisk omsorg og pleie, og hvor kommunen har fattet vedtak om døgnskategorisk pleie- og omsorgstjenester [1].*

### 1.2 Ljabrubakken omsorgssenter

Som en case for denne masteroppgaven er VVS-prosjekteringen til Ingénia AS ved Ljabrubakken omsorgssenter på Ekeberg i Oslo, valgt. Ljabrubakken omsorgssenter totalrehabiliteres etter passivhusstandard og all teknikk i boligene automatiseres som i et "smarthus".

Omsorgsboligkomplekset består av 54 leiligheter på ca. 50 m<sup>2</sup> med soverom, bad med dusj og toalett, entre, samt ett rom med stue og kjøkken kombinert. I tillegg er det fellesarealer for beboerne med kafeteria, treningsrom, frisør og hudpleie samt kontorlokaler for de ansatte.

For denne oppgaven er det valgt å simulere for to leiligheter, en sørvest-vendt og en nordøst-vendt. Detaljene og modelleringen av disse vil det bli gått nærmere inn på i del 3.1.



Figur 1.1: Sydvest-vendt fasade Ljabrubakken [2]

### 1.3 Motivasjon

Verdenssamfunnet står ovenfor en energirevolusjon og det er et økende fokus på gode, energieffektive og miljøvennlige teknologiske løsninger for å svare på samfunnets energiutfordringer. Bygninger står for en betydelig del av samfunnets energiforbruk og har store energibesparelsesmuligheter. Myndighetene setter derfor stadig høyere krav til energieffektive bygg. Ventilasjon står for en stor del av moderne bygningers energiforbruk. For å svare på krav satt til energieffektive bygninger er det en økende trend å benytte avanserte behovsstyrte ventilasjonssystemer ikke bare i bygg med store luftmengdebehov, som skoler og idrettshaller, men også i boliger.

Det er grunn til å stille spørsmål ved trenden om stadig å søke etter høyteknologiske ventilasjonsløsninger for å spare energi. Med avanserte behovsstyrte løsninger som DCV (*Demand Controlled Ventilation*) med mer automatikk enn enklere CAV-løsninger (*Constant Air Volumes*), kommer høyere kostnader med lengre utsikter for lønnsomhet enn for enklere systemer [3]. Videre medfører avanserte systemer større driftsutfordringer og ofte økte kostnader til drift og vedlikehold av anleggene. Et velfungerende ventilasjonssystem er et system som tilfredsstiller brukernes oppfatning av de inneklimateiske forholdene. Dersom automatikken i de avanserte systemene ikke fungerer slik som prosjektert, vil dette ofte gå utover kvaliteten på de inneklimateiske forholdene og skape misnøye med ventilasjonen.

For små boenheter er det diskuterbart om det, i dette tilfellet 50 m<sup>2</sup> store omsorgsleiligheter, er lønnsomt med avanserte DCV-systemer når man sammenligner økte kostnader knyttet til mer automatikk og komponenter opp mot besparelser i energibruk over livsløpet til systemet. For at DCV skal være et attraktivt alternativ til CAV eller enklere VAV-systemer (*Variable Air Volumes*), med små luftmengder og nokså konstant brukstid, påpeker Mysen et. al [4] at de ekstra engangskostnadene bør bli utlignet av redusert energibruk knyttet til viftebruk, oppvarming av tilluft i aggregatet, samt lavere arealkostnader med tanke på redusert investering for vifter, kanaler og aggregater.

### 1.4 Mål

Målet med denne masteroppgaven er definert i oppgaveteksten som "... å vurdere og å utvikle forslag til energieffektive og kostnadseffektive løsninger for behovsstyrt ventilasjon og klimatisering for omsorgsleiligheter". I det reelle prosjektet hos Ingénia AS er den valgte klimatiseringsmetoden fire VAV-enheter per leilighet og styring etter CO<sub>2</sub> og temperatur. Dette har vist seg vanskelig å kunne forsvares økonomisk og det er dermed et ønske om å utvikle et enklere system med tanke på styring og kompleksitet.

Dermed vil det være et mål om å påvise at en enklere, mer kostnadseffektiv løsning enn den reelle vil være bedre egnet for denne type boenheter, samtidig som man opprettholder ønsket høyt nivå på inneklimate og med lav energibruk. Målet for det valgte systemet for

klimatisering er også at livsløpskostnadene knyttet til innkjøp, vedlikehold og drift skal samsvare med energibesparelsene over levetiden til systemet. Altså at det bør være klar korrelasjon mellom økte kostnader for mer avanserte systemer, med dertil økte energibesparelser. Videre er det fra et teknisk synspunkt, mål om at det valgte systemet er enkelt og funksjonelt å drifte, slik at et man minimerer utgifter knyttet til drift og vedlikehold over levetiden, samt at driftspersonell enkelt kan operere og vedlikeholde systemet.

I forstudiet til denne masteroppgaven, prosjektoppgaven levert høsten 2013, ble det simulert med ulike DCV-systemer i den samme modellen som brukes i denne oppgaven. Det ble påvist at DCV var marginalt mer energieffektivt enn CAV (*Constant Air Volumes*) for en slik type leilighet, med økte luftmengder fra minimumskravene i TEK 10 [5]. Derimot trenger de små omsorgsboligene relativt små luftmengder og nærmest døgkontinuerlig drift, så besparelsene med DCV kontra CAV er små, både med tanke på total luftmengde og energibruk. Resultatene var sensitive med tanke på variasjon i luftmengdene.

Det er kjent at den fremste grunnen til usikkerhet knyttet til bygningers påvirkning og oppførsel ved simuleringer er beboer- og brukskarakteristikken av bygget, da hoveddelen av internlaster er fra beboerne selv [6]. Det er dermed avgjørende dataene som brukes i simuleringene er så nært de faktiske forholdene som mulig for å oppnå realistiske simuleringresultater. Dette vil bli gått nærmere inn på i del 3.3.

Denne oppgaven vil sammenligne 3 ulike klimatiseringsmetoder av omsorgsleiligheter, med tanke på energibruk og kostnader i et livsløpsperspektiv:

- CAV-løsning med to tilluftsventiler og to avtrekk.
- Kombinert CAV og VAV-løsning med et tidsstyrte VAV-spjeld med minimums- og maksimumsventilasjon, samt en CAV-ventil på soverom.
- DCV-løsning med styring etter CO<sub>2</sub> og temperatur, med to tilluftsventiler og to avtrekk.

Løsningene blir nærmere presentert i del 3.5.



## 1.5 Simuleringsprogrammet IDA ICE

IDA ICE er et anerkjent simuleringsverktøy for systemsimuleringer i bygninger. Programvaren eies i dag av EQUA Simulation AB i Sverige. IDA ICE står for "*Integration Differential-Algebraic equations Indoor Climate and Energy*". I IDA ICE lages en modell som etter bygningen skal simuleres. Selvvalgt input på bygningens dimensjoner, materialer og U-verdier defineres. Videre defineres infiltrasjonstall, kuldebro-verdier og systemparametre enten som selvvalgt input eller ved forhåndsbestemt input, som er typiske verdier for boliger av ulik karakter. Selvvalgt input velges dersom verdiene varierer fra den forhåndsbestemte inputen.

Videre defineres og modelleres de ulike bygningssystemene for oppvarming, nedkjøling, ventilasjon samt internlaster. Man har muligheten til å velge egendesignede eller forhåndsbestemte systemer. Det lages en tredimensjonal modell av bygningen, hvor man etter simulering kan se hvordan ulike rom blir påvirket individuelt. Programmet kan utføre årssimuleringer for energi og simuleringer for varme- og kjølelast. Programmet simulerer dynamisk over de definerte sonene i bygningen og gir et helhetlig bilde av inneklimate og energiforbruket til bygningen.

## 1.6 Språk

Det presiseres at det meste av litteraturen studert er engelskspråklig og at norske og engelske tekniske uttrykk brukes om hverandre til en viss grad. Dette gjelder spesielt for forkortelsene for henholdsvis ventilering med konstante luftmengder, variable luftmengder og behovsstyrt ventilasjon – CAV, VAV og DCV. Det antas at de engelske uttrykkene er velkjente. Når det gjelder modelleringen av omsorgsleilighetene benyttes uttrykket sone om et ventilert område i leiligheten. Det er to soner i hver omsorgsleilighet.

## 2. Teori

### 2.1 Ventilering av små boenheter

Plan og bygningsloven stiller krav for ventilasjon av boenheter gjennom forskriften TEK10 [5]. Plan og bygningslovens forskrifter er rene funksjonskrav og kan oppnås på forskjellige måter.

Tabell 2.1: Kravspesifikasjoner for ventilasjon av boliger, TEK 10 § 13-2

	Luftmengde	Benevning
<b>Min. gjennomsnittlig luftmengde</b>	1,2	$\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
<b>Luftmengde for soverom per pers.</b>	26,0	$\text{m}^3/(\text{pers} \cdot \text{h})$
<b>Min. utenfor beboelsestid</b>	0,7	$\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$

Kravspesifikasjonene skal sørge for at boliger har tilstrekkelig ventilasjon som gir et godt innelima og som møter kjølebehovet til boligen. Boligen må tilføres tilstrekkelig med ren uteluft for å tynne ut forurensningene i inneluften. I henhold til forskriften bør luften tilføres i oppholdsrom med liten grad av forurensning og trekkes av i rom med høyere grad av forurensning. Dette for å sørge for at så lite som mulig av den forurensete luften blir transportert rundt i boenheten. Det er dermed viktig med riktig plassering av tilluftsventiler og avtrekk, samt at det tilrettelegges for luftstrømning mellom de ulike rommene med overlufsventiler og glipper mellom dør og karm. I henhold til forskriftene skal rom med ekstra forurensningsbelastning, kjøkken og våtrom ha avtrekk. Videre sier forskriften at en tilluftsmengde lik avtrekksmengden må tilføres boligen [5]. Tilluftsventiler plasseres gjerne på soverom og i stue [7].

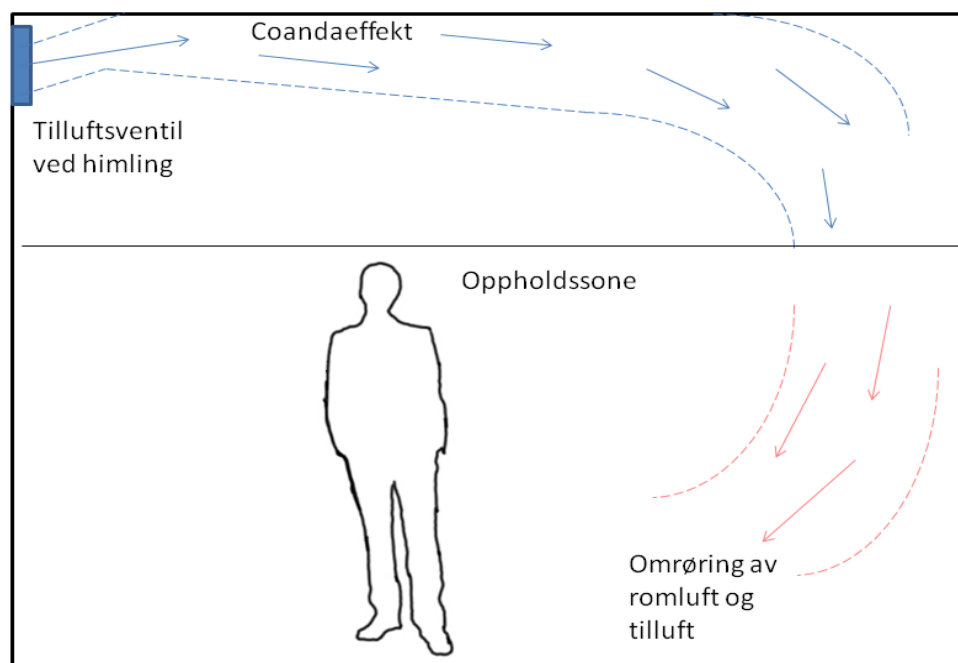
Den minste gjennomsnittlige luftmengden er satt til  $1,2 \text{ m}^3$  per  $\text{m}^2$  og time, for å tynne ut forurensningene i romluften tilstrekkelig. Dette kravet gjelder som et gjennomsnitt over døgnet og medfører at luftmengden kan reguleres lavere over en viss periode dersom ventilasjonen forseres over andre deler av døgnet slik at gjennomsnittet ikke er lavere enn minstekravet. På soverom der mennesker selv er den største kilden til forurensning av luften er minimumsluftmengden satt til  $26,0 \text{ m}^3$  per time og per person. Dette for å sørge for tilstrekkelig lufttilførsel for å tynne ut utåndingsluften slik at  $\text{CO}_2$ -konsentrasjonen holdes under det preaksepterte nivået på 1000 ppm [5]. Videre bør luften oppleves frisk og ren og at dette gjelder for all type bruk av boenheten. Ventilasjonen bør være driftsikker, levere ønsket luftmengde og være brukervennlig [8].

En detaljert beskrivelse av luftmengder, plassering av tilluftsventiler, avtrekk og luftfordeling i de ulike rommene for omsorgsboligene blir gitt i del 3.4 – 3.5.

Generelt kan det deles inn i tre ventilasjonsmetoder: *naturlig ventilasjon*, *mekanisk ventilasjon* og *hybrid ventilasjon*. Med *naturlig ventilasjon* menes det at en utnytter uteluft direkte, uten noe foredling i et ventilasjonsaggregat. Naturlige oppdriftskrefter og vind utnyttes, og det brukes dermed ingen vifter for å transportere luft rundt i bygget. Tilluften kan for eksempel tilføres gjennom spalter over vinduer, eller ved egne sjakter. Hybrid ventilasjon er en kombinasjon av naturlig og mekanisk ventilasjon. For denne oppgaven er *mekanisk ventilasjon* den aktuelle metoden, og naturlig ventilasjon og hybrid ventilasjon vil ikke bli gått nærmere inn på.

Ljabrubakken omsorgssenter benytter et mekanisk balansert ventilasjonssystem for å ventilere boenhetene. Uteluften behandles til ønsket tilstand i et ventilasjonsaggregat og energi tilføres tilluften gjennom vifter for å transportere luften rundt i bygningen. Vifter benyttes også ved avtrekk. Med mekanisk balansert ventilasjon av leilighetene i omsorgsboligsenteret sørger en for at det tilføres og trekkes av ønskede luftmengder til eller fra ønsket sted. Luftens tilstand, samt luftmengder og lufthastigheter kontrolleres ved at det gjøres dimensjonering av aggregat, vifter og kanalsystem. På Ljabrubakken er det et sentralaggregat med en roterende varmegjenvinner for å gjenvinne varme fra avkastluften.

Et balansert ventilasjonssystem i omsorgsboligen er dermed essensielt med tanke på energi- og kostnadseffektivitet [7].



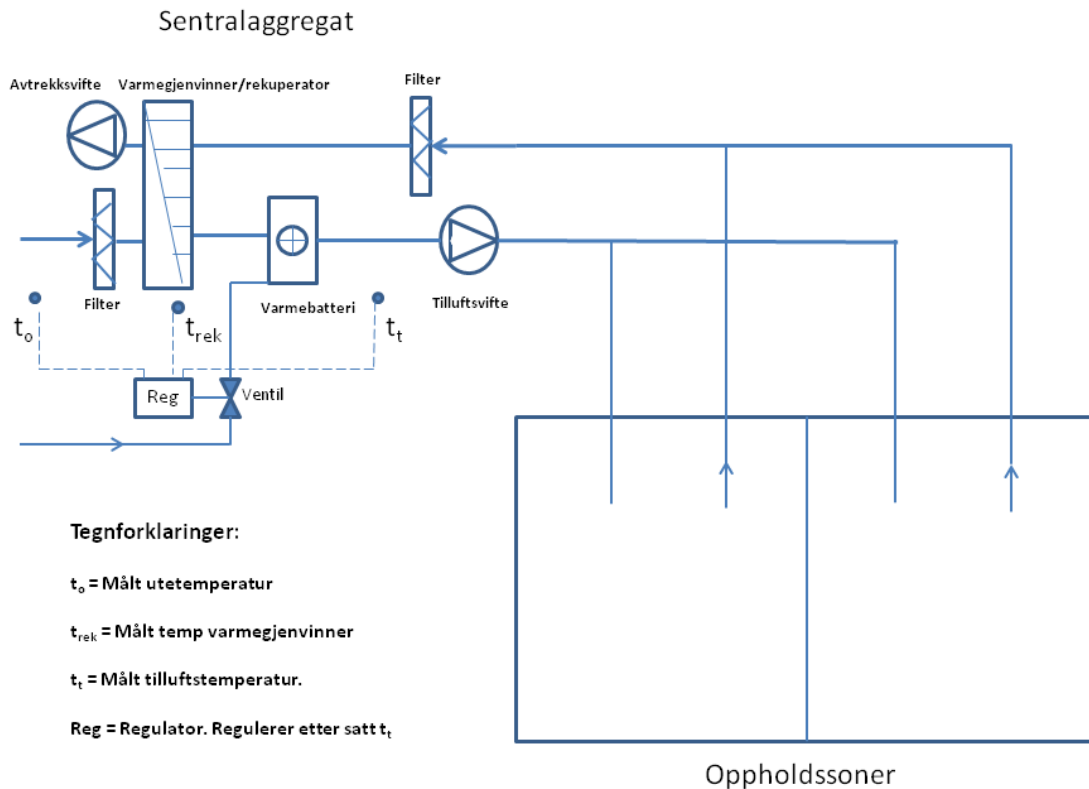
Figur 2.1: Omrøringsventilasjon, prinsipiell skisse[9]

I omsorgsboligene ventileres det etter *omrøringsprinsippet*, som vist i Figur 2.1. Luften tilføres oppholdssonen undertemperert, med relativ høy hastighet. Det høye momentet i luftstrømmen og den relativt lave temperaturen gjør at luften etter hvert faller til oppholdssonen. Coandaeffekten, at luftstrømmen kleber seg til himlingen, sørger for økt kastelengde slik at luften ikke faller til rommet for tidlig. Når luften når oppholdssonen har den oppnådd høyere temperatur og lavere hastighet enn rett ved ventilen, slik at den er behagelig og at trekk forhindres. Omrøringen skjer når tilluften med relativ høy hastighet blander inn en stor mengde av romluften i det den faller mot oppholdssonen. Forurensningskonsentrasjonen er uniform i hele rommet ved full omrøring og riktig dimensjonering og plassering av tilluftsventiler og avtrekk. Det er viktig å dimensjonere slik at trekkproblemer og kortslutning av tilluften unngås [10].

## 2.2 Ventilasjon med konstante luftmengder - CAV

Med CAV, *Constant Air Volume*, menes ventilasjon med konstant luftmengde. Temperaturen i tilluften kan varieres ettersom kjølebehovet varierer, mens luftmengden holdes konstant [11]. Den dimensjonerende luftmengden avgjørende for denne mengden. Den dimensjonerende luftmengden brukt i simuleringene i denne oppgaven vil bli vist i del 3.4. Ved døgkontinuerlig drift og relativ lik belastning over et døgn kan dette være en god løsning.

CAV-systemer vil ha lavere investeringskostnader og lavere kostnader knyttet til drift og vedlikehold enn VAV- og DCV-systemer, da de er enklere med mindre automatikk. CAV vil ha lavere fleksibilitet enn VAV og DCV og det vil ventileres unødvendig dersom boligen ikke er i bruk. Energieffektiviteten er dermed lavere enn ved systemer med variable luftmengder og behovsstyrt ventilasjon. Kostnader knyttet til energibruk vil dermed ofte være høyere enn for VAV og DCV.



Figur 2.2: Systemskisse CAV-løsning. To tillufts- og avtrekksventiler [11]

Figur 2.2. viser en prinsipiell skisse av et to-kanals CAV-system med to tillufts- og avtrekksventiler, og et sentralaggregat (se del 2.1). Tilluftstemperaturen blir regulert etter som kjølebehovet varierer. Reguleringen av tilluftstemperaturen skjer enten ved utekompansering eller avtrekksregulert ved kjøling. Utekompansering er det vanligste. Tilluftstemperaturen varieres ettersom utetemperaturen varierer.

Oppvarmingen av tilluften i sentralaggregatet på Ljabrubakken skjer vannbårent ved hjelp av varme fra grunnvarmepumpesystemet som står for oppvarmingen av boligene. En regulator styrer mengden av varmtvann som varmer tilluften. Ved utekompansert regulering måler denne måler utetemperaturen, temperaturen etter varmegjenvinneren samt tilluftstemperaturen og regulerer vannmengden etter en satt tilluftstemperatur.

Ventilasjonssystemet står dermed for å dekke kjølebehovet, nemlig å fjerne overskuddsvarmen i de ulike rommene. Tilluftstemperaturen må ikke være for kald, da dette kan føre til trekkproblemer i rommet.

## 2.3 Variable luftmengder og behovsstyrt ventilasjon - VAV, DCV

Ved ventilasjon med variable luftmengder skilles det gjerne mellom VAV-systemer, *Variable Air Volumes*, og DCV, *Demand Controlled Ventilation*, som er mer avanserte VAV-systemer med automatiserte styringsmekanismer av forskjellige typer.

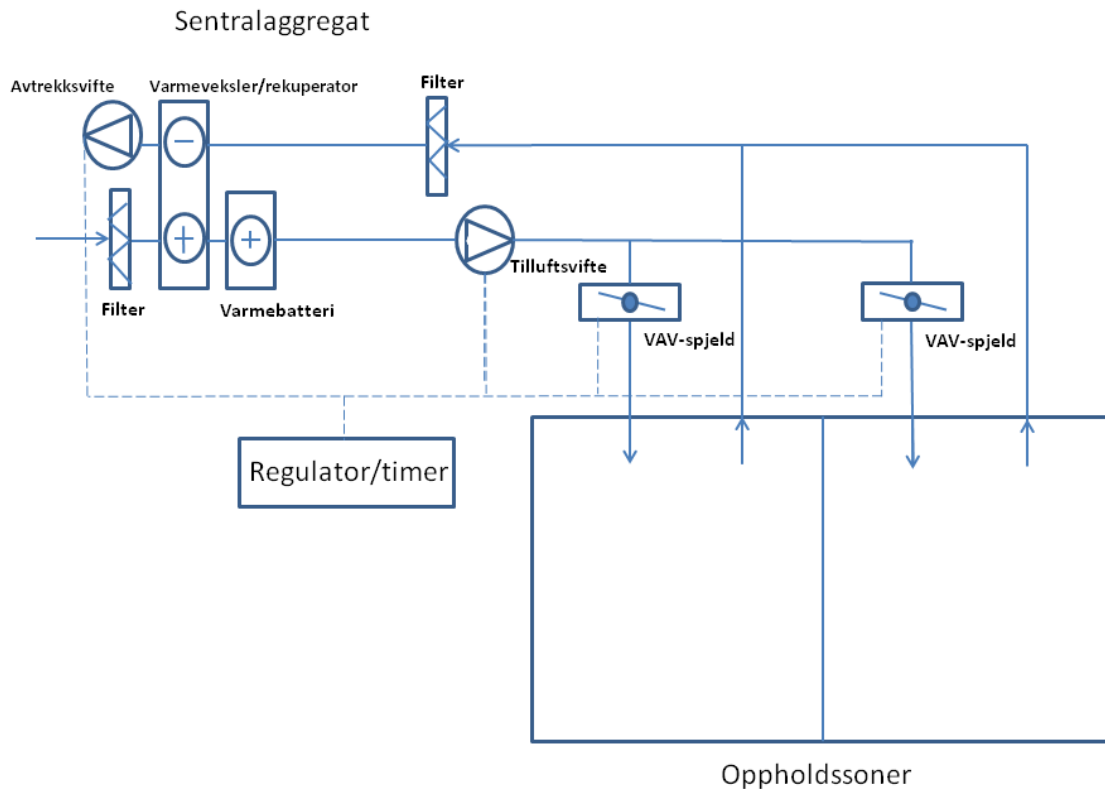
### 2.3.1 Ventilasjon med variable luftmengder, VAV

Den enkleste formen for ventilasjon med variable luftmengder er VAV-systemer der lufttemperaturen i tilluften holdes konstant og luftmengde varieres ettersom kjølebehovet varierer [11]. VAV er også en form for behovsstyring av ventilasjonen, men reguleres ikke etter flere faktorer enn det varierende kjølebehovet. Det benyttes VAV-spjeld for å variere luftmengde.

En enkel strategi med VAV er tidsur-styrte spjeld, med et maksimums- og et minimumsnivå av ventilasjonen. I en boenhet slik som på omsorgssenteret på Ljabrubakken, hvor beboeren oppholder seg i leiligheten over store deler av døgnet, kan dette være en god løsning. En mulig timerstyring, som også vil bli vist ved simuleringene, er å ventilere med et minimumsnivå på natten i den sonen som beboeren ikke oppholder seg i og med et tilstrekkelig høyt nivå på soverommet.

VAV-løsninger vil oppnå lavere energibruk sammenlignet med CAV i tilfeller med variabel brukstid. Videre vil en VAV-løsning som beskrevet ovenfor, ha nokså lite automatikk-komponenter sammenlignet med et DCV-system. Det kan derfor antas at kostnader knyttet til investering er nokså lave, men noe høyere enn for CAV. I denne oppgaven er det dimensjonert for en tilluftsventil på soverommet. Denne er det knyttet utfordringer til med tanke på støy. Ved en VAV-løsning har man muligheten til å redusere tilluftsmengden eller tilluftshastigheten, både på natten og i perioder med minimum drift, slik at denne utfordringen blir imøtekommet. Videre vil, siden tilluften ikke brukes til romoppvarming, tilluftsraten være på et minimumsnivå dersom oppvarming av uteluften er nødvendig. Dermed vil VAV-systemer bruke mindre energi enn CAV ved tilsvarende forhold [11].

Lavere tilluftshastighet, som er et mulig scenario ved VAV-drift, vil skape utfordringer knyttet til omrøringen av romluften. Ved for lav tilluftshastighet vil kastelengden bli kortere, tilluften vil kunne falle til oppholdssonen for tidlig, med lavere moment og skape en dårlig omrøring av luften, noe som er negativt med tanke på luftkvaliteten.



Figur 2.3: Systemskisse VAV-løsning, to tillufts- og to avtrekksventiler og VAV-spjeld. Sentralaggregat [11]

Figur 2.3 viser en typisk systemskisse for en VAV-løsning med to tillufts- og avtrekksventiler. Den er tilsvarende Figur 2.2, med unntak av VAV-spjeldene som er plassert i forkant av de to tilluftsventilene og som regulerer tilluftsmengden, gjennom en regulator eller timer. Oppvarmingen av tilluften i varmebatteriet reguleres på samme måte som for CAV.

### 2.3.2 Behovsstyrt ventilasjon, DCV

Behovsstyrt ventilasjon, forkortet til DCV – *Demand Controlled Ventilation*, er en mer avansert form for VAV, i den forstand at tilluftsmengden reguleres etter flere faktorer i tillegg til romtemperaturen [11]. Disse reguleringsmekanismene omfatter sensorer som måler graden av forurensning på romluften gjennom CO<sub>2</sub>-konsentrasjon eller luftfuktigheten i rommet, samt bevegelsessensorer som også kan ha mulighet til å overstyre målingene fra sensorene. Tilluftsmengden varierer etter krav satt for forurensningsnivået på inneluften. Det kan også styres etter en kombinasjon av de overnevnte styringsmekanismene, der det strengeste kravet gjelder [12].

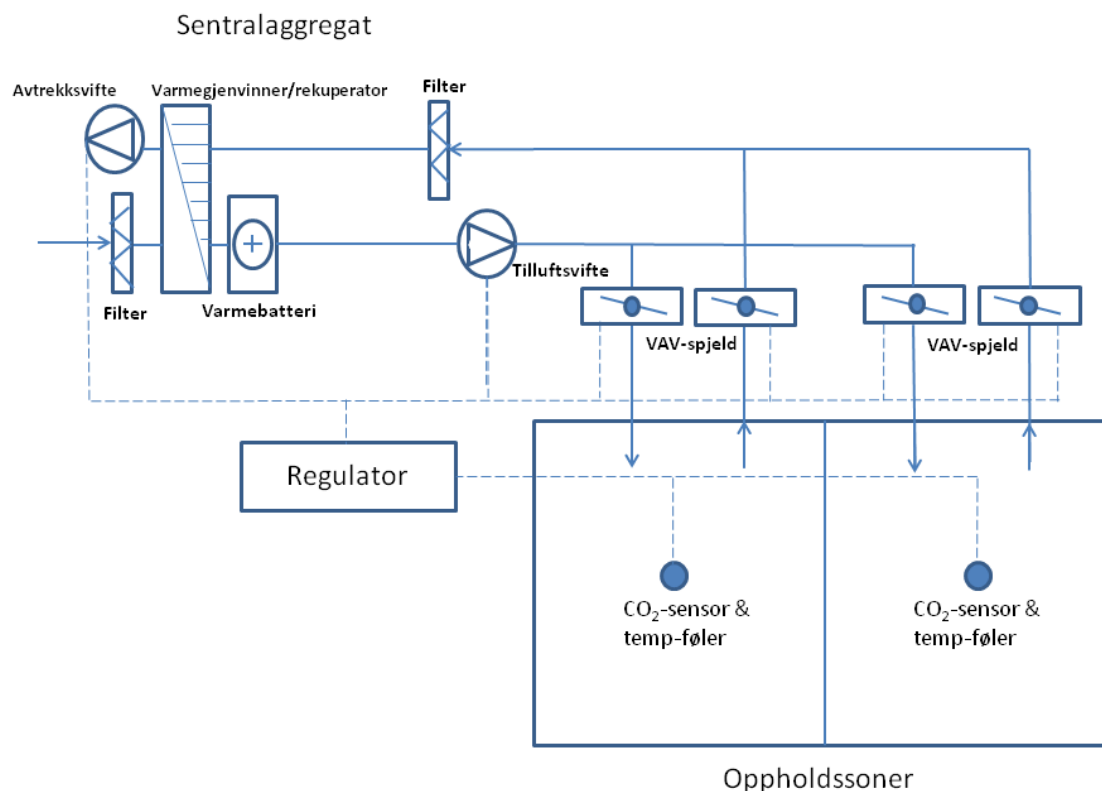
For denne oppgaven er det aktuelle systemet DCV med styring etter CO<sub>2</sub> og temperatur, valgt for simuleringene. Bakgrunnen for dette valget vil bli gått inn på i del 3.6. Ved DCV-CO<sub>2</sub>

måles CO<sub>2</sub>-nivået i romluften ved CO<sub>2</sub>-sensorer, og tilluftsmengden reguleres etter et satt maksimalnivå. Dette nivået avhenger av antall personer og aktivitetsnivået i rommet. Det er viktig å merke seg at CO<sub>2</sub>-nivået brukes som en indikator på kvaliteten på inneluften og ikke i seg selv er skadelig før konsentrasjoner mye høyere enn det som regel settes som normverdi på 1000 ppm. Den største forurensningskilden for moderne boliger er menneskene som oppholder seg der, gjennom utånding av CO<sub>2</sub>, produksjon av avgasser, fuktighet og svette samt partikler fra hud og hår [12]. Dersom konsentrasjonen av CO<sub>2</sub> øker, øker også konsentrasjonen av de andre luftforurensende kildene. Beboernes oppførsel og bruksmønster har dermed stor innvirkning på ytelsen til DCV-systemet. For simuleringene er det viktig med så reell som mulig beboerkarakterstikk, for et mest mulig realistisk resultat [6, 13]. Beboerkarakterstikken for omsorgsleilighetene vil bli presentert i del 3.3.

CO<sub>2</sub>-sensorer er relativt billige og gir pålitelige målinger, og DCV-CO<sub>2</sub> er dermed en mye brukt løsning [10, 14]. For at målingene skal være så presise som mulig er riktig plassering og kalibrering av sensorene viktig. De må heller ikke reagere på annen gass eller damp enn CO<sub>2</sub>. Dette er også kravspesifisert [12]. Sensorene kan plasseres enten på romnivå eller i avtrekkskanalen. Korrekt plassering av sensorer i rommet er viktig med tanke på korrekt måling av CO<sub>2</sub>-nivå, og dermed korrekt tilluftsmengde etter forholdene. Sensorene bør plasseres sentralt i rommet for å unngå områder med stillestående luft, samt rett utenfor oppholdssonen slik at en unngår direktepåvirkninger fra beboerne [12]. Plassering av sensoren i avtrekkskanalen er mer ukonvensjonelt, og fordrer full omrøring av ventilasjonsluften i rommet slik at den avtrekksluften som måles gir et faktisk bilde på luftkvaliteten i oppholdssonen. Sensorer plassert i avtrekkskanalen er utsatt for eventuell forurensning i kanalene, samt at komponenter plassert i kanalsystemet kan påvirke målingene [12].

DCV-systemer vil ha høyere engangskostnader enn tilsvarende VAV- og CAV-systemer på grunn av mer automatisering og komponenter. Sensorene har begrenset levetid og trenger jevnlig oppfølging for å måle og fungere korrekt. Det er dermed større utfordringer knyttet til driften av anlegget. Driftskostnadene er ikke nødvendigvis høyere enn de andre systemtypene da redusert viftedrift, redusert energibruk knyttet til nedkjøling og oppvarming av tilluften grunnet reduserte luftmengder vil føre til energibesparelser. Disse besparelsene er sterkt avhengig av brukskarakteristikken og størrelsen på luftmengdene. Ved relativt store luftmengder, variabel bruks- og driftskarakteristikk er DCV påvist mer effektivt enn CAV [4]. Uansett bruks- og driftskarakteristikk vil et DCV-system være mer fleksibelt og sørge for at det ikke ventileres unødvendig mye.





Figur 2.4: Systemskisse DCV-løsning. To tillufts- og avtrekksventiler. VAV-spjeld, CO<sub>2</sub>-sensorer og regulator[12]

Figur 2.4 viser en systemskisse av en typisk DCV-løsning, her representert slik som i modellen brukt for omsorgsboligen med to tillufts- og avtrekksventiler, samt to VAV-spjeld og CO<sub>2</sub>-sensorer og temperaturføler, samt en regulator. CO<sub>2</sub>-sensoren måler CO<sub>2</sub>-nivået i de ulike rommene, og regulatoren regulerer spjeld-åpning og viftedriften ut fra setpunkt-verdien på typisk 1000 ppm. Temperaturføleren måler romtemperaturen. Det strengeste kravet styrer luftmengden. Oppvarmingen av tilluft i varmebatteriet skjer ved det varme fra det vannbårne varmesystemet.

## 2.4 Energieffektive ventilasjonsanlegg

Et energieffektivt ventilasjonsanlegg er vesentlig med tanke på lave kostnader og optimal drift av anlegget. Det stilles krav til energibruken i ventilasjonsanleggene i både forskriften TEK10 og spesielle kriterier for passivhus gjennom NS3700 [15]. Energieffektive anlegg kjennetegnes av lavt trykkfall i systemet og høy virkningsgrad på vifter og systemet for øvrig. Nilsson [11] definerer et energieffektivt anlegg slik: "... et ventilasjonsanlegg som leverer luft ved ønsket tilluftsrate til sonene med minimum energibruk og som har et fornuftig bruk av ressurser med tanke på installasjon" [11]. For å oppnå et energieffektivt anlegg er god og riktig planlegging og prosjektering vesentlig. Spesielt langs kanalveien med høyest trykkfall er det viktig med riktig komponentvalg, vifte- og motorvalg til viften samt riktig designet

kanalvei med korrekt tetthetsklasse for minimale tap. Dette vil redusere energibehovet til viftedrift [16].

Et godt mål for å vurdere energieffektiviteten i ventilasjonsanlegg er SFP, *Specific Fan Power*, som gir forholdet mellom effekten som brukes for å drive viftene og den største luftmengden som forflyttes av disse viftene.

$$SFP = \frac{\sum P}{\dot{V}}$$

Der:

SFP = Specific Fan Power [kW / (m<sup>3</sup>/s)]

$\sum P$  = summen av all vifteeffekt [kW]

$\dot{V}$  = største av tillufts- og avtrekksluftmengdene i anlegget [m<sup>3</sup>/s]

Den største av tillufts- og avtrekksmengdene i anlegget defineres som en nettoluftmengde, altså luftmengden målt ved romnivå, ikke i sentralaggregatet. Netto luftmengde vil være lavere enn brutto luftmengde ved sentralaggregatet på grunn av eventuelle lekkasjer i kanalsystemet [16]. Et akseptabelt nivå på SFP for et anlegg slik som på Ljabrubakken med passivhusstandard og tilnærmet døgkontinuerlig drift, vil være SFP < 1,5, som også er kriteriet i NS3700 [15]. For anlegg med variable luftmengder, VAV og DCV, økes SFP med 1,0 når det ventileres med maksimale luftmengder [11]. SFP for simuleringene av omsorgsleilighetene vil bli vist i del 3.7.

For å minimere trykktap over komponentene og i rørbend er hastighetene som luften transporteres rundt med avgjørende. Reduserte lufthastigheter kan dermed medføre store trykktapsreduksjoner samt at de også er vesentlige for den totale effektiviteten til anlegget [16]. Trykkfallet mellom to punkter kan uttrykkes slik, forutsatt turbulent strømnings:

$$\Delta P_{1-2} = k \cdot v^2$$

Der:

$\Delta P_{1-2}$  = trykkfaller mellom to punkter ved turbulent strømnings (Pa)

k = konstant

v = lufthastigheten [m/s]

Av dette kan det ses at hvis hastigheten reduseres med 30 % vil trykkfallet mer enn halveres. Ved store luftmengder, som ved sentralaggregatet på Ljabrubakken, bør det dermed dimensjoneres for relativt store kanalstørrelser for å holde hastigheten relativt lav i

systemet. Derimot er det viktig at hastighetene ikke er for lave. For lave tilluftshastigheter gjennom tilluftsventilene kan medføre dårlig omrøring i sonen (se del 2.3.1).

Aktuell SFP for simuleringene vil bli vist i del 3.7.

For ventilasjonseffektivitet skilles det mellom luftvekslingseffektivitet og forurensningsfjerningseffektivitet. Ved omrøringsventilasjon blandes romluften og forurensningen, forurensningen diffunderer og luften avtrekkes. En forutsetning for effektiv forurensningsfjerning og god luftkvalitet er at luftskiftet og omrøringen av luften i rommet er god nok. Ved omrøringsventilasjon og uniform forurensningskonsentrasjon i hele rommet vil luftvekslingseffektiviteten være den fornuftige å ta hensyn til.

Den nominelle tidskonstanten for luftskiftet er gitt som:

$$\tau_n = \frac{V}{q_v} \text{ [s]}$$

Der:

- $\tau_n$  = nominell tidskonstant (s)
- $V$  = romvolumet ( $m^3$ )
- $q_v$  = tilluftsmengden ( $m^3/s$ )

Rommets luftskifterate for omrøringsventilasjon er gitt som:

$$n = \frac{1}{\tau_n} \text{ [1/s]}$$

Luftskifteraten sier noe om forholdet mellom tilført luft og volumet på rommet. Effektiv ventilasjon med god omrøring vil ha lav luftskifterate og samtidig høy fjerning av forurensning.

Gjennomsnittlig alder på luften er gitt som:

$$\langle \tau_{\text{snitt}} \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_{\text{punkt i rom}}$$

For hele rommet gjelder:

$$\tau_r = 2 \langle \tau_{\text{snitt}} \rangle$$

Alderen på luften vil være høyere dess dårlige omrøringen i rommet er. For omsorgsboligen er det dermed viktig med lav luftalder, for effektiv utskiftning av luften. Det vil ikke bli gått nærmere inn på luftalder i simuleringprosessen.

Luftvekslingseffektiviteten for anlegget er gitt som:

$$\varepsilon^a = \frac{\tau_n}{2\langle\tau_{\text{snitt}}\rangle} \cdot 100\%$$

For full omrøring ved omrøringsventilasjon gjelder videre:

$$\langle\tau_{\text{snitt}}\rangle = \tau_n$$

Alle formler er fra [17].

Luftvekslingseffektiviteten for fullstendig omrøringsventilasjon blir  $\varepsilon^a = 50\%$ . I designfasen av ventilasjonsanlegget er det viktig med korrekt plassering av tilluftsventil og avtrekk og korrekt tilluftsmengde samt hastighet. Ved kortslutning av luftstrømmen vil luftvekslingseffektiviteten være lavere enn 50 %.

I tillegg til luftvekslingseffektivitet benyttes også forurensningsfjerningseffektiviteten  $\varepsilon^c$ , som er lik forholdet mellom konsentrasjonen av forurensning i rommet og i avtrekket. Ved fullstendig omrøringsventilasjon, slik det antas i denne oppgaven, vil konsentrasjonen være lik over hele sonen og  $\varepsilon^c = 1$  og den er derfor ikke like interessant.

## 2.5 Vifter og viftedrift

Denne delen vil gå nærmere inn på vifter og viftedrift for et mest mulig energieffektivt ventilasjonsanlegg. Viftene står for en betydelig andel av det totale energibehovet til et ventilasjonssystem og dermed det totale energibehovet for en bygning med mekanisk ventilasjon. Viftetyper er også med på å påvirke energieffektiviteten til et system, og da spesielt viftesystemets virkningsgrad [16].

Hva slags type vifte som benyttes i et system er derfor viktig for den totale ytelsen, og energieffektiviteten. Generelt sett gir radialvifter med bakoverbøyde skovler høyest energieffektivitet, da disse har høyest virkningsgrad [16]. Energiforbruket ved viftedrift påvirkes av, i tillegg til hva slags vifte som benyttes, motordriften og installasjonsforholdene. Optimalt turtallsnivå og riktig installasjon med tanke på lavt trykkfall i systemet medfører store sparepotensialer. Det er en tydelig sammenheng mellom lavt energiforbruk til vifter og stillegående vifter med optimal drift [18].

## 2.6 Støyproblematikk og støyproduksjon

Støy defineres som uønsket lyd [11]. For boligenheter er støy fra ventilasjonsanlegg et vesentlig problem og en av de viktigste grunnene for misnøye med de inneklimateiske forholdene [19]. Det stilles generelle krav til lydnivået fra ventilasjonsanlegget i boliger ved forskriften TEK10s § 13-9 "Støy fra byggtekniske installasjoner og utendørs lydkilder" [20]. samt konkrete kriterier i lydstandarden NS 8175: 2012 "Lydforhold i bygninger, lydklasser for ulike bygningstyper" [21].

Tabell 2.2: Krav og kriterium for lydnivå fra tekniske installasjoner i bolig

TEK 10 § 13-9 [20]	<i>"Byggtekniske installasjoner skal plasseres, prosjekteres og utføres slik at det sikres tilfredsstillende lydforhold i byggverk og brukerområde, i rom for varig opphold i annen bygning og på uteoppholdsareal avsatt for rekreasjon og lek"</i>
NS 8175, Klasse A – for oppholdsrom og soverom [21]	$L_{p, AF, max} = 25 \text{ dB}$

For omsorgsleilighetene på Ljabrubakken med tilluft på soverom er et lavstøyende anlegg viktig. Derfor er NS8175 klasse A valgt som krav. NS8175 klasse A er lydnivå definert som en tilstand med "spesielt gode lydforhold der berørte personer bare unntaksvis blir forstyrret av lyd og støy" [21]. Maksimal støy på romnivå fra ventilasjonsanlegget er dermed 25 dB.

Det kan skilles mellom støy som oppstår som følger av luft som strømmer gjennom kanalsystemet og støy som genereres av vifter, og ved tillufts- og avtrekksventiler. For denne oppgaven antas det at støyen generert i viftene i sentralaggregatet og i kanalsystemet er tilstrekkelig dempet i henhold til kravspesifikasjonene. Støy fra tillufts- og avtrekksventilene vil bli vurdert, sammen med støy fra VAV-enhetene i tilfellene med VAV og DCV. Forventet støy fra disse enhetene blir gitt i del 3.8.

For et lavstøyende anlegg er det viktig at lufthastigheten holdes tilstrekkelig lav. For kanalsystemer vil støy oppstå som følger av bend og avgreninger i systemet, hvor turbulente luftstrømmer oppstår. Økte lufthastighet vil igjen forsterke denne effekten. Støy fra vifter oppstår ved virveldannelser i luften som strømmer gjennom, samt fra motordriften til viften. Denne støyen er proporsjonal med viftehjulets turtall opphøyd i femte,  $n^5$  der n er turtallet til viften [18].

## 2.7 Inneklima – påvirkning på eldre og pleietrengende mennesker

Det foretrukne anlegget for denne oppgaven må i tillegg til å være energi- og kostnadseffektivt også sørge for et godt inneklima hvor det har blitt tatt hensyn til at beboerne av omsorgsleilighetene i de fleste tilfeller vil være eldre og pleietrengende mennesker. Inneklimaet avhenger av følgende faktorer [11]:

- Innendørs luftkvalitet (IAQ – Indoor Air Quality)
- Termisk klima og termisk komfort
- Akustisk miljø (lyd og støy)
- Aktinisk miljø (lys og stråling)
- Mekanisk miljø (kroppspåvirkning, ergonomi)

I dette avsnittet vil det fokuseres på inneklima og påvirkning på eldre og pleietrengende mennesker. Dette er det gjort flere studier på [22, 23], og da spesielt knyttet til termisk klima og termisk komfort. Først vil generell teori vedrørende punktene over bli gitt, samt hvordan de inneklimate faktorene vil bli vurdert ut fra simuleringene i IDA ICE. Det akustiske miljøet ble gått inn i på detalj i 2.6. Aktinisk og mekanisk miljø vil ikke bli gått nærmere inn på.

*Innendørs luftkvalitet (IAQ)* er et mål på hvor godt menneskers behov for god inneluft blir møtt [24]. Luften bør oppleves frisk og ren, og få oss til å føle oss bedre. Riktig tilluftstemperatur, tilstrekkelig høy luftskifterate og filtrering av uteluften er viktig. Videre er det vesentlig at luftinntaket og luftavkastet på bygningen ikke ligger for nær hverandre, slik at man unngår at den forurensede avkastluften blandes med tilluften. Generelt sett bør luften tilføres relativt kjølig og tørr [24]. Hvordan luften oppleves varierer fra person til person. *PAQ (Perceived Air Quality)* er et uttrykk for dette.

*Termisk komfort* er definert som ”*sinnstilstanden som uttrykker tilfredsstillelse med det termiske miljøet*”. Påvirkninger på *det termiske klimaet* og den termiske komforten er [11]:

- Lufttemperatur ( $T_a$ )
- Radiell temperatur fra omliggende overflater ( $T_r$ )
- Relativ lufthastighet, trekk i rommet og turbulens
- Lufttrykk og luftfuktighet
- Aktivitetsnivå - hvor høy forbrenning beboeren har, metabolsk rate (MET)
- Isolasjonsgrad til klærne til beboeren (Clo)
- I tillegg andre personlige faktorer som helse, sult, alder, hvor lenge man oppholder seg i rommet og tilpasningsevne

Ventileringen av boenhetene i denne oppgaven påvirker temperaturen, lufthastigheten, trekk og turbulensen i rommet samt lufttrykket og luftfuktigheten. De aktuelle temperaturene, lufthastighetene i systemene det simuleres med vil bli presentert i del 3.4. Den operative temperaturen, eller den følte temperaturen i rommet, er den det vil bli tatt hensyn til. Operativ temperatur er definert som:

$$T_o = \frac{(T_a + T_r)}{2} \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Operativ temperatur er snittet av lufttemperaturen og den radielle temperaturen summert. Lufttemperaturen  $T_a$  påvirkes direkte av ventilasjonsanlegget, og den radielle temperaturen,  $T_r$ , påvirkes av radiell stråling fra omliggende flater som radiatorer, gulvvarme, vinduer og utstyr samt varme avgitt fra beboerne selv. Den operative temperaturen er den følte temperaturen som vil bli brukt i resultatene fra simuleringene. En konsekvens av operativ temperatur er at man kan senke lufttemperaturen og øke den radielle temperaturen uten at dette går ut over den opplevde temperaturen i rommet. Tilluftstemperaturen kan dermed være betydelig lavere enn den operative romtemperaturen og energibruken til oppvarming av ventilasjonsluften reduseres.

Den aktuelle metabolske raten (MET), aktivitetsnivået til beboeren samt isolasjonsgraden (Clo) vil bli gitt i del 3.3.

Oppfattelsen av termisk komfort er individuell fra person til person. For å vurdere hvor godt det termiske klimaet er kan Fangers komfortindekser, PPD og PMV, benyttes. PPD står for "*Percentage of Persons Dissatisfied*" og gir prosentvis andel misnøyde med en gitt PMV. PMV står for "*Predicted Mean Vote*" og angir den forventede gjennomsnittlige oppfattelsen med et nivå på det termiske klimaet.

Av påvirkningene på den termiske komforten er punktet om personlig faktorer som helse og alder spesielt vesentlig i dette tilfellet. Flere studier viser at aldringsprosessen hos mennesker kan endre oppfattelsen av termisk komfort [22, 23]. Dette vil fortsatt være individuelt fra person til person, så PMV-modellen kan fortsatt antas å gjelde. Eldre personer har en tendens til å ha mindre kontroll over kroppens termostat, altså evnen til å regulere kroppstemperaturen [22].

Forskningen til Schellen [23] viste at eldre generelt sett oppfattet temperaturer lavere enn de faktisk er. Videre er den basale metabolismen for eldre lavere enn for yngre mennesker, samt at aktivitetsnivået generelt sett vil være lavere. Dette gjelder spesielt for personer som bor i omsorgsboliger. Medisinerte personer vil kunne ha desto større variasjoner i oppfatningen av temperaturer [23]. Eldre vil dermed trenge høyere romtemperaturer for å oppnå termisk komfort. Dette bør tas hensyn til når en designer boliger for eldre og pleietrengende, og vil bli vektlagt med tanke på temperaturene i simuleringene i denne oppgaven.

Når det gjelder personer med demens, som en også vil være mulig beboere av omsorgsleilighetene på Ljabrubakken, påpeker Van Hoof [22] at det kan oppstå problemer knyttet til oppfattelsen av ventilasjonen og ventilasjonsanlegget. Blant annet vil store mengder damp og fukt ved dusjing kunne oppleves stressende. Avtrekksvifter som slås på automatisk når lysbryteren slås på kan virke forvirrende. Dette er relativt små og individuelle problemer. Derimot skal anlegget i denne oppgaven skreddersys opp mot en omsorgsbolig, og det bør tas med i betraktningen.

Fra et etisk ståsted er det også diskutert hvorvidt beboerne selv skal ha mulighet til å påvirke ventilasjonen etter eget ønske. For omsorgsboliger mener driftstekniker i Omsorgsbygg i Oslo kommune, Martin Thams Rønning [25], at dette i de fleste tilfeller kun påvirker ventilasjonen og ytelsen til anleggene negativt.

## 2.8 Kostnadseffektivitet og livssyklus kostnader, LCC

De tre ulike ventilasjonsmetodene (CAV, VAV/CAV, DCV) som det simuleres med i denne oppgaven vil bli sammenlignet både med tanke på mulige energisparinger de utgjør, og kostnadene hver av dem representerer over et livsløpsperspektiv. For å sammenligne de ulike metodene finnes ulike økonomiske modeller. Livsløpskostnadene, LCC (*Life Cycle Costs*), tar hensyn til alle kostnader knyttet til ventilasjonsanleggene i et livsløpsperspektiv og fremgår av nåverdiregninger. Nåverdi-modellen er dermed en god metode å utnytte for å sammenligne totale kostnader med totale energibesparelser.

De tre ulike ventilasjonssystemene vil ha ulike energi- og kostnads karakteristikk. CAV forventes å ha de laveste kostnadene knyttet til innkjøp og vedlikehold, grunnet lite automatikk. DCV antas å ha de høyeste kostnadene knyttet til dette, samtidig som det ved økte kostnader er en tydelig korrelasjon med tilsvarende økte besparelser i energibruk og driftskostnader. Innledningsvis ble det nevnt at dersom DCV skal være et godt alternativ til CAV på bygg slik som omsorgsleilighetene i denne oppgaven, med små luftmengder og nokså konstant brukstid, må de ekstra innkjøpskostnadene bli utlignet av reduserte kostnader knyttet til energibruk og drift av vifter, samt oppvarming og nedkjøling av tilluften i aggregatet. I tillegg vil arealkostnadene også gå ned, med tanke på reduserte størrelser på kanaler, komponenter og aggregat [4].

Livsløpskostnadene for de ulike systemene blir beregnet med følgende formel [26]:

$$LCC = IC + NPV(N, r) \cdot EC$$

Der:

- IC = Initialkostnad for full implementering, design og kjøp av valgt system
- NPV = Nåverdifaktor funksjon av levetiden til anleggskomponentene i antall år N og diskonteringsrenten r, gitt som den uniforme rekken:  $(N, r) = \frac{1-(1+r)^{-N}}{r}$



- EC = årlig energikostnad ved bruk, pluss drift- og vedlikeholdskostnader av komponent, gitt ønsket nivå på inneklimaet.

Beregningene av livsløpskostnadene for de ulike systemene vil bli vist i del 4.2.

Det mest kostnadseffektive anlegget vil være det anlegget med lavest livsløpskostnader. Livsløpskostnadene til anlegget tar hensyn til energikostnadene ved bruk, drift og vedlikehold gitt ønsket nivå av inneklimaet, og dermed vil også ta hensyn til energieffektiviteten.

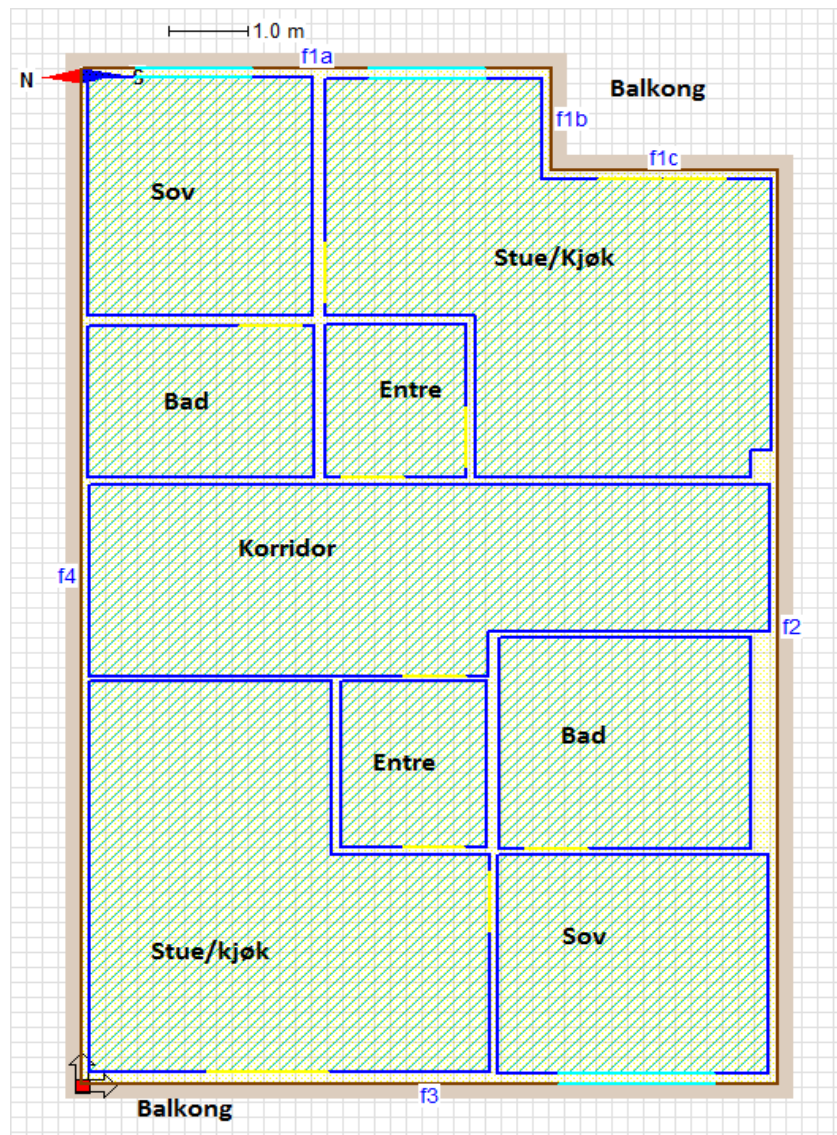
### 3. Metode – simuleringer i IDA ICE og kostnadsberegninger

I denne delen vil simuleringsmodellen i IDA ICE bli presentert, sammen med detaljer knyttet til internlast, beboerkarakteristikk samt hvilke valg som er gjort med tanke på de ulike ventilasjonssystemene og detaljer knyttet til de respektive systemene. Videre vil bakgrunnen for kostnadsberegningene bli presentert.

#### 3.1 Oppbygging og modell av omsorgsleiligheter

Ljabrubakken omsorgssenter på Ekeberg i Oslo består av 54 omsorgsleiligheter på rundt 50 m<sup>2</sup> BTA. For å forenkle modelleringen av bygningen ble det valgt å simulere for 2 leiligheter, én østvendt og én vestvendt. Dermed blir påvirkning fra solinnstråling og værforhold fra begge himmelretninger tatt med i betrakninger. Leilighetene som ble valgt ligger i 2.etasje i sørenden av bygget, med full etasje over og under. Kun de vestvendte og østvendte veggene er yttervegger for disse leilighetene, de resterende er innevegger. Veggene, samt gulv og tak, mot omsluttende leiligheter er i simuleringene gjort ikke tilstøtende, altså at det ikke er noe varmeoverføring med de omsluttende leilighetene. Korridoren i mellom leilighetene er ikke tatt med i energiberegningene. De to simulerte leilighetene er dermed isolerte enheter. Omsorgsleilighetene består av 4 rom: kombinert stue og kjøkken, soverom, bad og entre. Se Figur 3.1 på neste side.

Simuleringsmodellen inkluderer også utvendig solavskjerming for de vinduene på den sør-vestvendte fasaden, samt at innvendige persiener er inkludert for alle vinduer. Disse styres av en forhåndsdefinert input for grad av solinnstråling for IDA ICE og vil redusere kjølebehovet til leilighetene.



Figur 3.1: Plantegning IDA ICE, simulerte leiligheter

### 3.2 Bygningsspesifikasjoner og bygningssystemer

Bygningsmassen på Ljabrubakken rehabiliteres etter passivhusstandarden NS 3700: 2014. All teknikk automatiseres som i et smarthus. Tabell 3.1 under gir bygningsspesifikasjonene brukt i simuleringene i denne oppgaven, som tilsvarer de forventede reelle verdiene.

Tabell 3.1: Bygningsspesifikasjoner brukt i simuleringer

Bygningsdel	U-verdi [W/K•m <sup>2</sup> ]
Ytre vegg	0,12
Indre vegg	0,15
Indre gulv	0,08
Tak	0,09
Vindu	0,7
Kuldebroer	Verdi [W/K•(m <sup>2</sup> bygningsskall)]
Total for bygningsskall	0,03
Infiltrasjon	Verdi [h <sup>-1</sup> ] v/ trykkdifferanse = 50 Pa
Lekkasjetall	0,5

For simuleringene i IDA ICE velges en klimamodell for input fra ytre påvirkninger samt en vindprofil for beliggenheten til bygningen. Ljabrubakken ligger på Ekeberg i Oslo. Klimamodellen er satt til Oslo, med et gjennomsnittlig klima for denne breddegraden og geografiske beliggenhet. Vindprofilen er satt til en forstad, da Ekeberg er en boligbebyggelse utenfor sentrumsområdene. Begge modellene er forhåndsdefinert i IDA ICE. Midlere dimensjonerende sommertemperatur er på 21 °C, og på vinterstid -20 °C. Årsmiddeltemperaturen er på 6,3 °C, årsmidlere relativ luftfuktighet er 72,8 % og årsmidlere vindhastighet er på 2,2 m/s.

*Oppvarmingen* av omsorgsboligsenteret skjer ved en grunnvarmepumpe (grunnlast) og en elektrisk kjel (spisslast). På romnivå varmes det med en vannbåren radiator i stue/kjøkken samt vannbåren gulvarme på baderommet. Oppvarmingen av uteluft i sentralaggregatet skjer ved varme fra grunnvarmepumpesystemet. Dekningsgraden for det årlige energibehovet for oppvarming er gitt i Tabell 3.2 under.

Tabell 3.2: Energiforsyning, Ljabrubakken

Energiforsyning	Romoppvarming	Varmtvann	Ventilasjonsluft	Belysning	Romutstyr
Varmepumpe-system	90 %	30 %	90 %		
Elektrisitet	10 %	40 %	10 %	100 %	100%
Solfangere		30 %			

Det er ingen kjøling verken av tilluften i sentralaggregatet eller på romnivå. Det er videre ikke prosjektert for frikjøling fra varmepumpen.

### 3.3 Beboerkarakteristikk og internlaster

Med beboerkarakteristikk menes hvordan beboeren bruker og oppholder seg i boligen.

Det er kjent at den største grunnen til usikkerhet knyttet til bygningers påvirkning i simuleringsresultater er beboerkarakteristikk [6]. For å oppnå realistiske simuleringsresultater er det dermed avgjørende at beboerkarakteristikken er så nær de faktiske forholdene som mulig.

Da Ljabrubakken omsorgsboligsenter er under rehabilitering var det ikke mulig å innhente data om beboerne der. Derimot ble det innhentet beboerkarakteristikk fra et tilsvarende omsorgsboligkompleks på Ammerud i Oslo, Ammerudtunet Bosenter. En typisk beboer ved en tilsvarende omsorgsbolig er ute av leiligheten i ca. 4 timer midt på dagen, da beboeren kan benytte seg av omsorgsboligkomplekset andre fasiliteter som fellesrom, kafé, frisør og hudpleier eller være med på utflukter [27]. For simuleringene i IDA ICE ble det laget en tidsplan for beboeren av omsorgsleiligheten. Beboeren antas å være ute av leiligheten mellom kl. 11 til kl. 15 hver dag. Videre antas det at beboeren oppholder seg på soverommet mellom kl. 22 til kl. 08, hver dag. En samlet oversikt over tidsplaner for beboerkarakteristikk og internlaster er gitt i Tabell 3.3.

Øvrige internlaster som belysning og boligutstyr har en tidsplan etter hvordan beboeren antas å oppholde seg i de ulike rommene i omsorgsleiligheten. Belysningen er av mens beboeren er ute av leiligheten, og på mens beboeren oppholder seg i de ulike rommene og fungerer som ved en bevegelsessensor. Utstyr i de ulike rommene, som TV, radio og kjøkkenutstyr antas å være på mens beboeren oppholder seg i de ulike rommene. Effekten både fra lys og utstyr er valgt etter IDA ICEs forhåndsbestemte input for en leilighet av denne størrelsen.

Tabell 3.3: Internlaster og beboerkarakterstikk

Internlaster og beboerkarakterstikk	Tidsplan	Verdi
Stue/kjøkken	08 - 11 og 15 - 22	
Soverom	22 - 08	
Baderom/Entre	-	
Belysning	Lik som respektive rom	100 W per lysarmatur
Husholdningsutstyr	Lik som respektive rom	250 W, utstrålt varme

Beboerne på Ljabrubakken vil være eldre og pleietrengende personer. Beboerne er derfor antatt å holde seg i ro når de oppholder i leiligheten. Aktivitetsnivået uttrykt gjennom den metabolske raten (MET) er i simuleringene derfor satt til 1,0, som tilsier et lavt aktivitetsnivå. Isolasjonsgraden, et mål på hvor mye klærne til beboerne isolerer, er satt til 0,85 Clo, med en variasjon med  $\pm 0,25$  ettersom det termiske klimaet varierer i boligen. Dette tilsvarer normal innendørsbekledning.

Tabell 3.4: Metabolsk rate og isolasjonsgrad

	Verdi
Metabolsk rate (MET)	1,0
Isolasjonsgrad (Clo)	0,85 $\pm$ 0,25 etter termisk komfortstatus

### 3.4 Luftmengder og lufttemperaturer

For simuleringene ble det beregnet luftmengder for ventilasjonsanlegget ut fra forskriftskravene for luftmengder i TEK10, gitt i Tabell 2.1. De valgte luftmengdene for omsorgsleilighetene som ble brukt som utgangspunkt i simuleringene er gitt i Tabell 3.4. Disse representerer etter forskriften minimumskravet for gjennomsnittlige luftmengder. Beregningene er vist i sin helhet i Vedlegg B.

Tabell 3.5: Luftmengder omsorgsleiligheter

Rom	Tilluft [m <sup>3</sup> /h]	Avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Forsert avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Overstrømning hvis forsert avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Tilluft fra ventil [l/s•m <sup>2</sup> ]	Avtrekk [l/s•m <sup>2</sup> ]
Baderom	0,0	54,0	108,0	54,0	0	2,14
Soverom	54,0	0,0	0,0	0,0	1,67	0,00
Stue/kjøkken	36,0	36,0	108,0	72,0	0,45	0,45
Entre	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>90,0</b>	<b>90,0</b>	<b>216,0</b>			

Tilluftstemperaturen er 16 °C og er en forhåndsdefinert verdi i IDA ICE, som tilluftstemperaturen etter luftbehandling i sentralaggregatet. Denne er utekompensert og vil variere ettersom kjølebehovet varierer ved ventileringen med konstante luftmengder.

I henhold til forskriften skal avtrekket forseres på kjøkken og baderom. Avtrekksvolumet i TEK10 er brukt som utgangspunkt for grunnventilasjonen og det forserte avtrekket i omsorgsleilighetene.

Tabell 3.6: Avtrekksvolum i bolig, TEK10 [5]

Rom	Grunnventilasjon	Forsert ventilasjon	Benevning
Kjøkken	36,0	108	m <sup>3</sup> /h
Bad m/toalett	54,0	108	m <sup>3</sup> /h

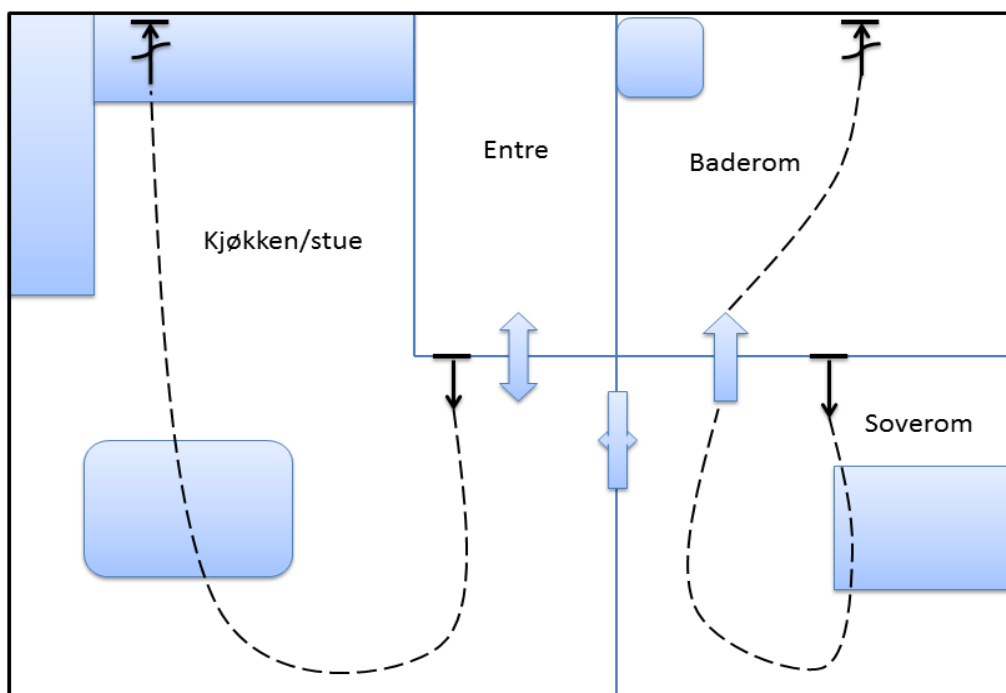
Videre i simuleringene vil det også bli forsøkt å øke luftmengdene fra de dimensjonerende mengdene beregnet. De aktuelle luftmengdene for hver simulering vil bli gitt sammen med resultatene av energisimuleringene.

Flere studier viser at det ved bruk av DCV er mulig å redusere luftmengden i boligbygg fra nasjonale krav uten å påvirke kvaliteten på inn klimaet negativt [13, 28]. Det er viktig at den reduserte luftmengden ikke går ut over kvaliteten på inn klimaet, eller skaper fuktighetsproblemer. For denne oppgaven vil det ved reduserte luftmengder VAV- og DCV-

løsningene antas at det forseres tilstrekkelig luftmengder i perioder slik at minimumskravet for gjennomsnittlige luftmengder i TEK10 opprettholdes.

### 3.5 Luftfordeling i omsorgsleilighet

I omsorgsleilighetene er det i simuleringene to tillufts- og avtrekksventiler. Tilluftsventilene er plassert i stue/kjøkken-området samt på soverommet. Avtrekkene er på kjøkkenet og på baderommet, med forsering på baderommet og ved en kjøkkenhette over komfyren.



Figur 3.2: Luftfordeling omsorgsleiligheter

Figur 3.2 viser luftfordelingen i omsorgsleilighetene med tilluftsventiler med framkantinnblåsing under himling på veggen i stue/kjøkken og på soverom, samt avtrekkene på baderom og på kjøkkenet. Det er plassert overluftsventiler over dørene mellom soverom og baderom, samt over dørene mellom baderom og soverom og mellom entreen og stua. Disse sørger for tilstrekkelig luftstrøm mellom de ulike rommene slik at luften trekkes av i områdene med høyere forurensningsgrad og at det tilføres nok luft ved perioder med forsert avtrekk.

### 3.6 Valg av klimatiseringsmetoder

Det er valgt 3 ulike klimatiseringsmetoder for simuleringene:

1. CAV – konstante luftmengder og varierende tilluftstemperatur ettersom kjølebehovet varierer.
2. Kombinert VAV- og CAV-løsning med et tidsstyrte VAV-spjeld med minimums- og maksimumsventilasjon, samt CAV på soverom.
3. DCV med styring etter CO<sub>2</sub> og temperatur.

Disse metodene vil bli vurdert etter energieffektivitet, kostnadseffektivitet og nivå på de inneklimateiske forholdene. I tillegg vil det bli vektlagt ønsket om en enklere løsning enn den prosjekterte løsningen fra Ingénia AS sin side, som er en DCV-løsning med 4 VAV-enheter og styring etter CO<sub>2</sub> og temperatur. Løsning 3) er tilsvarende denne løsningen. Luftmengdene vil bli variert til en viss grad, for å se påvirkning på energibruken og de inneklimateiske forholdene.

Ulike luftmengder blir vurdert for CAV-løsningen 1). Det er tatt utgangspunkt i de dimensjonerende luftmengdene vist i del 3.4.

For den kombinerte VAV- og CAV-løsningen, 2), utnyttes det at stue/kjøkken-området ikke blir brukt på natten. Dermed kan ventilasjonen reduseres til et minimumsnivå i denne perioden, så lenge TEK10-kravene for gjennomsnittlig luftmengde blir opprettholdt. En enkel styringsmekanisme er dermed tidsur-styrte VAV-spjeld med en minimumsventilasjon om natten og en maksimumsventilasjon om dagen. For å forenkle systemet ble det valgt å ventilere med konstante luftmengder, CAV, på soverommet og baderommet da variasjonen i bruken ikke er like stor her.

Når det gjelder DCV-løsningen 3) var det først tenkt å styre kun etter CO<sub>2</sub>, for å forenkle den valgte DCV-løsningen til Ingénia AS. Etter å ha gjort innledende simuleringen for å teste de ulike valgte systemene viste det seg derimot at DCV uten styring etter temperatur ikke gir tilfredsstillende innklimateiske forhold. Temperaturene blir alt for høye på sommerstid. Dette kommer av at CO<sub>2</sub>-utslippene som følger av utånding fra den ene beboeren er forholdsvis små, og at det varierende kjølebehovet i mye større grad vil være avgjørende for luftmengdene.

I forbindelse med valg av klimatiseringsmetodene ble driftstekniker i Omsorgsbygg i Oslo Kommune, Martin Thams Rønning [25] intervjuet. Rønning delte erfaringer rundt hvilke ventilasjonsanlegg som er vanlig i omsorgsbolig-sektoren, hvilke utfordringer som er knyttet til de ulike løsningene og hvilke tilbakemeldinger han får fra beboerne med tanke på ventilasjonen og innklimaet.



Temperaturer er den vanligste kilde til klager, og generelt er det mye klager fra omsorgsboliger. Typiske klager fra beboere er at det er for kaldt på vinteren og for varmt på sommeren.. Beboerne som er i lite aktivitet vil ofte klage på at det er for kjølig, mens de som er i aktivitet ofte klager på at det er for varmt [25]. For DCV er dermed temperaturstyring også praktisk.

### 3.7 Støynivå for valgte løsninger

For de valgte løsningene antas det at støy fra vifter i sentralaggregatet og fra kanalsystemet er tilstrekkelig dempet i henhold til støyforskriften i TEK10. Dette oppnås ved korrekt viftedrift, bruk av lydfeller og et godt designet kanalsystem med tanke på lavt støynivå.

På romnivå er dermed den viktigste støykilden tillufts- og avtrekksventilene. Støyen fra disse må ikke overskride 25 dB i henhold til forskriften [20].

De valgte tillufts- og avtrekksventilene er levert av Systemair [29, 30] og er vanlige veggmonterte sirkulære ventiler til boliger.



Figur 3.3: Sirkulær tilluftsventil, Systemair.no



Figur 3.4: Sirkulær avtrekksventil, Systemair.no

Disse ventilene er lavtstøyende og har god luftmengdekapasitet og lavt trykkfall. For de gjeldene luftmengdene og ventildimensjoner på 125 mm på tilluftsiden og 200 mm på avtrekksiden, vil støynivået ligge godt innenfor kravet på 25 dB både med valgte luftmengder og for forsert ventilasjon. Se Tabell 3.7 for detaljer. Alle verdiene er hentet fra Systemairs produktblader på nett [29, 30].

Tabell 3.7: Støynivå tillufts- og avtrekksventiler

	Stue/kjøkken	Soverom	Baderom
<b>Tilluftsventil</b>	15 dB	19 dB	
<b>Avtreksventil</b>	15 db		18 dB
<b>Avtreksventil, ved forsering</b>	22 dB		22 dB

### 3.8 Simuleringer i IDA ICE

I IDA ICE gjøres årssimuleringer for å beregne energibruken til de ulike bygningsystemene, og for bygningsmodellen totalt. Energibruken til de ulike ventilasjonssystemene vil bli sammenlignet. For disse inngår elektrisk energi for å drive vifter, pumper, sensorer og for regulering av spjeld samt energi til varmebatteriet i sentralaggregatet. I varmebatteriet varmes tilluften ved hjelp av varme fra grunnvarmepumpen, og det er varmemengden i kWh som utnyttes til å varme uteluften blir brukt som sammenligningsgrunnlag i resultatdelen sammen med energi brukt til å drive vifter og pumper i sentralaggregatet.

Tabell 3.8: Inputverdier sentralaggregat, IDA ICE

Sentralaggregat-komponent	Verdi	SFP
<b>Tilluftsvifte, trykkøkning</b>	600 Pa	1,0
<b>Avtreksvifte, trykkøkning</b>	600 Pa	1,0
<b>Virkningsgrad vifter el/luft</b>	0,6	
<b>Varmegjenvinner virkningsgrad</b>	0,6	
<b>Varmebatteri T<sub>in</sub></b>	60 °C	
<b>Varmebatteri-temperaturavgivning</b>	20 °C	

Tabell 3.8 gir inputverdiene til komponentene i sentralaggregatet det simuleres med. Disse er forhåndsbestemte verdier i IDA ICE for et lavenergianlegg.

Oppvarmingssystemet i omsorgsleilighetene simuleres med et innebyggt program i IDA ICE kalt ESBO, *Early Stage Building Optimization*. Her legges de ulike komponentene inn i et predefinert system med forhåndsbestemte verdier, som er egnet for simuleringsmodellen. Disse kan endres ved behov. For denne oppgaven er de forhåndsdefinerte verdiene brukt, da det er ventilasjonssystemene som sammenlignes.

### 3.9 Drift av aktuelle anlegg

Denne delen er inkludert i metode-kapittelet for å belyse utfordringer knyttet til drift av de aktuelle ventilasjonsanleggene det simuleres med for omsorgsleilighetene. Driftskarakteristikken vil videre bli brukt som basis for driftskostnadsberegningene. Erfaringene det refereres til er basert på intervjuet med driftstekniker i Omsorgsbygg i Oslo Kommune, Martin Thams Rønning [25].

Generelt er det viktig med god og riktig drift av anleggene for at de skal fungere optimalt og som prosjektert. Driftsteknikerne har ofte problemer med at avtrekkene ikke fungerer slik de skal, med tanke på luftmengderegulering og støynivå. Dette gjelder spesielt der avtrekkene er samkjørte mellom flere soner. Det er viktig med god tilgjengelighet og gode muligheter for å regulere viftene i anlegget.

Når det gjelder behovsstyrte ventilasjonsanlegg, DCV, er det ofte problemer med automatikken og sensorene. Automatikken fungerer sjelden som den skal, og de prosjekterte systemene sammenfaller ofte ikke med de faktisk installerte. Ofte har ikke driftsteknikerne tydelige retningslinjer på hvordan anlegget bør driftes og vedlikeholdes, og dette fører til økte kostnader og anlegg som fungerer feil.

Et typisk anlegg ved et omsorgsboligkompleks vedlikeholdes 1-2 timer per uke, med kontroll av funksjoner, luftmengder og generell service. En gang i året går et produsentfirma over hele anlegget, for en full service.

## 4. Resultater

Her vil resultatene fra energiberegninger i IDA ICE bli presentert sammen med beregningen av livsløpskostnadene til anleggene, samt de inneklimatiske forholdene gitt av simuleringene i IDA ICE. De ulike løsningene vil bli sammenlignet, og en foretrukket klimatiseringsmetode vil bli valgt på bakgrunn av energi- og kostnadseffektivitet i et livsløpsperspektiv, samt tilfredsstillende inneklimatiske forhold. Sammenligningene av systemene vil bli gjort i del 4.4. Som nevnt innledningsvis i del 1.4 er det et delmål for denne oppgaven å påvise at det er en klar korrelasjon mellom økte engangskostnader til prosjektering og innkjøp, samt kostnader knyttet til drift og vedlikehold som følger av mer automatikk, med besparelser i energibruk over livsløpet til systemet.

### 4.1 Energiberegninger

Det er gjort to simuleringer for hver klimatiseringsløsning, én med luftmengder beregnet i henhold til minimumskravene i TEK10 og én med økte luftmengder fra TEK10-kravene. Det blir kun tatt hensyn til energibruken i ventilasjonsanleggene. Dette omfatter oppvarmingen av uteluften i varmebatteriet og vifte- og pumpebruk i sentralaggregatet. I varmebatteriet varmes det med oppvarmet vann fra det varmepumpende systemet. Denne varmemengden blir brukt som sammenligningsgrunnlag, og det antas at økt varmemengde medfører økt elektrisitetsbruk for å drive varmepumpen.

Resultatene fra prosjektoppgaven utført i forkant av denne masteroppgaven viste at DCV styrt etter temperatur og CO<sub>2</sub> var marginalt mer energieffektivt enn CAV. Her ble kostnadsaspektet ikke vurdert. Videre viste disse resultatene at besparelsene i energibruk for DCV var relativt små, på grunn av de små luftmengdene i anlegget og den nokså konstante brukstiden. Disse resultatene var sensitive med tanke på luftmengdene. Økte luftmengder medførte relativt stor økning i energibruk for CAV. DCV-energiebruken var mindre sensitiv for økte luftmengder. Den kombinerte VAV og CAV-løsningen det simuleres med i denne oppgaven vil forventes å være energibesparende i forhold til CAV-løsningen, da det ventileres med et minimum i stue/kjøkken-området på natten.

De ulike resultatene vil bli gitt og sammenlignet per m<sup>2</sup>.

#### 4.1.1 CAV

I denne delen blir resultatene fra årssimuleringene gjort med CAV-anleggene presentert. CAV 1.0 representerer simuleringen med minimumsluftmengdene beregnet i henhold til TEK10 og CAV 2.0 representerer løsningen med økte luftmengdene. Luftmengdene blir gitt i forkant av resultatene i Tabell 4.1.1 og Tabell 4.1.3. Nøkketallene blir kommentert for løsningene.

##### CAV 1.0

Tabell 4.1.1: Valgte luftmengder CAV 1.0

Rom	Tilluft [m <sup>3</sup> /h]	Avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Forsert avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Overstrømning hvis forsert avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Tilluft [l/s•m <sup>2</sup> ]	Avtrekk [l/s•m <sup>2</sup> ]
Baderom	0,0	54,0	108,0	54,0	0,00	2,14
Soverom	54,0	0,0	0,0	0,0	1,67	0,00
Stue/kjøkken	36,0	36,0	108,0	72,0	0,45	0,45
Entre	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>90,0</b>	<b>90,0</b>	<b>216,0</b>			

Tabell 4.1.2: Energiberegninger CAV 1.0

Energibruk [kWh]	Varmebatteri	Vifter	Pumper	TOTAL	Varmegjenvinner
<b>Total</b>	379.1	282.9	22.5	684,5	1636.2
<b>Total kWh pr. m<sup>2</sup></b>	<b>4,5</b>	<b>3,3</b>	<b>0,26</b>	<b>8,06</b>	<b>19,2</b>

Den totale årlige energibruken fra CAV 1.0 er 8,06 kWh/m<sup>2</sup>, gitt av Tabell 4.1.2. Denne blir brukt i sammenligningene i del 4.4.

## CAV 2.0

Tabell 4.1.3: Valgte luftmengder CAV 2.0

Rom	Tilluft [m <sup>3</sup> /h]	Avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Forsert avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Overstrømning hvis forsert avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Tilluft [l/s•m <sup>2</sup> ]	Avtrekk [l/s•m <sup>2</sup> ]
Baderom	0,0	54,0	108,0	54,0	0,00	2,14
Soverom	54,0	0,0	0,0	0,0	1,67	0,00
Stue/kjøkken	66,0	66,0	108,0	42,0	0,83	0,83
Entre	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>120,0</b>	<b>120,0</b>	<b>216,0</b>			

Tabell 4.1.4: Energiberegninger CAV 2.0

Energibruk [kWh]	Varmebatteri	Vifter	Pumper	TOTAL	Varmegjenvinner
<b>Total</b>	768.7	522.3	27.1	1318,1	2951.0
<b>Total kWh pr. m<sup>2</sup></b>	<b>9.0</b>	<b>6,1</b>	<b>0,31</b>	<b>15,41</b>	<b>34,6</b>

Tabell 4.1.4 viser at ved en økning av luftmengdene fra CAV 1.0 på totalt 30 m<sup>3</sup>/h nær doubles energibruken i CAV 2.0. Total energibruk for CAV 2.0 er 15,41 kWh/m<sup>2</sup>. Varmen tilført i varmbatteriet doubles og viftebruken nærmest doubles. Pumpeenergien er nokså lik. Dette sier at CAV-anleggene, som antatt, er sensitive med tanke på energibruk ved økning av luftmengder.

#### 4.1.2 VAV/CAV

På samme måte som for CAV representerer VAV/CAV 1.0 tilluftsmengder beregnet etter minimumskravene fra TEK10 og VAV/CAV 2.0 luftmengder økt med 30 m<sup>3</sup>/h i stue/kjøkkenområdet. For denne løsningen benyttes et VAV-spjeld på tilluftssiden i stue/kjøkkenområdet. Denne ventilerer med et minimum på natten, når denne ventilasjonssonen ikke er i bruk. Det ventileres med konstante luftmengder på soverommet og baderommet, hvor brukstiden er jevn over et døgn.

##### VAV/CAV 1.0

Tabell 4.1.5: Valgte luftmengder VAV/CAV 1.0

Rom	Tilluft [m <sup>3</sup> /h]	Avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Forsert avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Overstrømning hvis forsert avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Tilluft [l/s•m <sup>2</sup> ]	Avtrekk [l/s•m <sup>2</sup> ]
Baderom, CAV	0,0	54,0	108,0	54,0	0,00	2,14
Soverom, CAV	54,0	0,0	0,0	0,0	1,67	0,00
Stue/kjøkken VAV, maks	36,0	36,0	108,0	72,0	0,45	0,45
Stue/kjøkken VAV, min	23,8	23,8	108,0	82,2	0,30	0,30
Entre	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
<b>Total, maks</b>	<b>90,0</b>	<b>90,0</b>	<b>216,0</b>			
<b>Total, min</b>	<b>77,8</b>	<b>77,8</b>				

Tabell 4.1.6: Energiberegninger VAV/CAV 1.0

Energibruk [kWh]	Varmebatteri	Vifter	Pumper	TOTAL	Varmegjenvinner
<b>Total</b>	93.2	427.9	20.6	541,7	1617.0
<b>Total kWh pr. m<sup>2</sup></b>	<b>1,09</b>	<b>5,0</b>	<b>0,24</b>	<b>6,3</b>	<b>18,9</b>

Tabell 4.1.6 viser at total energibruk for VAV/CAV 1.0 er 6,3 kWh/m<sup>2</sup>. Dette er en betydelig reduksjon fra CAV 1.0 på 8,06 kWh/m<sup>2</sup>. Reduksjonen av oppvarmingen av tilluften er betydelig, som skyldes først og fremst de reduserte luftmengdene på natten. Derimot øker energibruken knyttet til viftedrift som følger av variable luftstrømmer og jevnlike endringer i viftedriften.

VAV/CAV 2.0

Tabell 4.1.7: Valgte luftmengder VAV/CAV 2.0

Rom	Tilluft [m <sup>3</sup> /h]	Avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Forsert avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Overstrømning hvis forsert avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Tilluft [l/s•m <sup>2</sup> ]	Avtrekk [l/s•m <sup>2</sup> ]
Baderom, CAV	0,0	54,0	108,0	54,0	0,00	2,14
Soverom, CAV	54,0	0,0	0,0	0,0	1,67	0,00
Stue/kjøkken VAV, maks	66,0	66,0	108,0	42,0	0,45	0,45
Stue/kjøkken VAV, min	23,8	23,8	108,0	82,2	0,30	0,30
Entre	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
<b>Total, maks</b>	<b>120,0</b>	<b>120,0</b>	<b>216,0</b>			
<b>Total, min</b>	<b>77,8</b>	<b>77,8</b>				

Tabell 4.1.8: Energiberegninger VAV/CAV 2.0

Energibruk [kWh]	Varmebatteri	Vifter	Pumper	TOTAL	Varmegjenvinner
<b>Total</b>	202.7	567.5	23.2	793,4	2438.4
<b>Total kWh pr. m<sup>2</sup></b>	<b>2,4</b>	<b>6,7</b>	<b>0,27</b>	<b>9,4</b>	<b>28,6</b>

Som forventet øker energibruken når de maksimale luftmengdene i stue/kjøkkenområdet økes med 30 m<sup>3</sup>/h, vist i Tabell 4.1.8. Derimot er ikke økningen like stor som i forholdet mellom CAV 1.0 og CAV 2.0. Nattsenkingen av ventilasjonen reduserer oppvarmingen av tilluften i varmbatteriet betraktelig. Energibruken fra viftedriften er den høyeste av samtlige løsninger til nå.



### 4.1.3 DCV

Det styres etter CO<sub>2</sub> og temperatur både på soverommet og på stue/kjøkken-området. Avtrekket på baderommet styres etter signaler fra sensorene på soverommet. Som for CAV og VAV/CAV økes maksimal-luftmengden med 30 m<sup>3</sup>/h for DCV 2.0. De variable luftmengdenes maksimal og minimumsnivå for de ulike rommene er gitt av Tabell 4.1.9 og 4.1.11.

#### DCV 1.0

Tabell 4.1.9: Valgte luftmengder DCV 1.0

Rom	Tilluft [m <sup>3</sup> /h]	Avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Forsert avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Overstrømning hvis forsert avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Tilluft [l/s•m <sup>2</sup> ]	Avtrekk [l/s•m <sup>2</sup> ]
Baderom, maks	0,0	54,0	108,0	54,0	0,00	2,14
Soverom, maks	54,0	0,0	0,0	0,0	1,67	0,00
Stue/kjøkken, maks	36,0	36,0	108,0	72,0	0,45	0,45
Baderom, min	0,0	9,7	108,0	98,3	0,00	0,30
Soverom, min	9,7	0,0	0,0	0,0	0,30	0,00
Stue/kjøkken, min	23,8	23,8	108,0	82,2	0,30	0,30
Entre	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
<b>Total, maks</b>	90,0	90,0	216,0			
<b>Total, min</b>	33,5	33,5	216,0			

Tabell 4.1.10: Energiberegninger DCV 1.0

Energibruk [kWh]	Varmebatteri	Vifter	Pumper	TOTAL	Varmegjenvinner
Total	369.6	491.5	13.7	874,8	2188.9
<b>Total kWh pr. m<sup>2</sup></b>	<b>4,3</b>	<b>5,8</b>	<b>0,16</b>	<b>10,2</b>	<b>25,7</b>

Av Tabell 4.1.10 ser man at sammenlignet med CAV 1.0 er energibruken ikke redusert, snarere øker den noe. Dette avviker noe fra forventningene. Det er energibruken knyttet til viftedrift som fører til denne økningen. Dette kan forklares av at temperaturstyring og CO<sub>2</sub>-

styring av ventilasjonen fører til variasjon i tillufts- og avtrekksmengdene og stadige turtallsendringer i viftene. Videre reduseres ikke energibruken til varmebatteriet i samme grad som for VAV/CAV 1.0, da det ikke nødvendigvis ventileres med et minimum om natten, altså at tilluftsmengden ikke reduseres i like stor grad.

### DCV 2.0

Tabell 4.1.11: Valgte luftmengder DCV 2.0

Rom	Tilluft [m <sup>3</sup> /h]	Avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Forsert avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Overstrømning hvis forsert avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Tilluft [l/s•m <sup>2</sup> ]	Avtrekk [l/s•m <sup>2</sup> ]
Baderom, maks	0,0	54,0	108,0	54,0	0,00	2,14
Soverom, maks	54,0	0,0	0,0	0,0	1,67	0,00
Stue/kjøkken, maks	66,0	66,0	108,0	42,0	0,45	0,45
Baderom, min	0,0	9,7	108,0	98,3	0,00	0,30
Soverom, min	9,7	0,0	0,0	0,0	0,30	0,00
Stue/kjøkken, min	23,8	23,8	108,0	82,2	0,30	0,30
Entre	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
<b>Total, maks</b>	120,0	120,0	216,0			
<b>Total, min</b>	33,5	33,5	216,0			

Tabell 4.1.12: Energiberegninger DCV 2.0

Energibruk [kWh]	Varmebatteri	Vifter	Pumper	TOTAL	Varmegjenvinner
<b>Total</b>	383.6	567.0	14.1	964,7	2299.0
<b>Total kWh pr. m<sup>2</sup></b>	<b>4,5</b>	<b>6,6</b>	<b>0,16</b>	<b>11,26</b>	<b>26,9</b>

Med økte maksimalluftmengder øker energibruken i forhold til DCV 1.0 som forventet. Derimot er ikke økningen like stor som mellom CAV 1.0 og CAV 2.0. Dette svarer til forventningen om at ventilasjon med økte variable luftmengder ikke er like sensitiv med tanke på økt energibruk enn for ventilasjon med konstante luftmengder.

## 4.2 Kostnadsberegninger

Først vil bakgrunnen for kostnadsberegningene bli gjennomgått i del 4.2.1, deretter vises resultatene i del 4.2.2.

### 4.2.1 Bakgrunn for kostnadsberegninger

Kostnadene for ventilasjonsanleggene sammenlignes i et livsløpsperspektiv. Formelen som benyttes er [26]:

$$LCC = IC + NPV(N, r) * EC$$

De ulike elementene ble presentert i del 2.8. Her vil grunnlaget for kostnadsberegningene bli gjennomgått. Driftskostnads karakteristikk er hentet fra driftstekniker Martin Thams Rønning [25]. All øvrig input for kostnadsberegningene er hentet fra Ingénia AS [31].

Alle kostnadene blir gitt som kr/m<sup>2</sup>. Dette for å ha et felles referansegrunnlag ved sammenligninger med andre anlegg. Totalarealet for simuleringsmodellen er  $A_{modell} = 85,2$  m<sup>2</sup>. Den dimensjonerende luftmengden brukt i beregningene er 216 m<sup>3</sup>. Økte anleggskostnader knyttet til VAV og DCV skyldes mer automatikk, kabling og kompleksiteten til systemene.

Initialkostnadene,  $IC$ , sammenfatter anleggskostnader og plan- og administrasjonskostnader. For initialkostnadene,  $IC$ , gjelder beregningsgrunnlaget:

Tabell 4.2.1: Beregningsgrunnlag initialkostnader,  $IC$

System	CAV	VAV/CAV	DCV
<b>Anleggskostnader</b>	200 kr/m <sup>3</sup> dim. luftmengde	CAV + 20 000 kr	CAV + 30 000 kr
<b>Plan- og administrasjonskostnader</b>	20 % av anleggskostnader	20 % av anleggskostnader	20 % av anleggskostnader

Nåverdifaktoren  $NPV$  er en funksjon av  $N$ , levetiden til anlegget, og  $r$ , diskonteringsrenten. For disse gjelder:

Tabell 4.2.2: Levetid og diskonteringsrente

<b>Levetid <math>N</math>, for alle anlegg</b>	20 år
<b>Diskonteringsrente, <math>r</math></b>	5 %
<b><math>NPV(N, r)</math></b>	$(N, r) = \frac{1 - (1 + r)^{-N}}{r}$

$EC$  er sammensatt av årlige energikostnader, samt årlige kostnader knyttet til drift og vedlikehold av anleggene. Energikostnadene er hentet fra årssimuleringene gjort i IDA ICE. For driftskostnadene er det antatt at en driftstekniker jobber 1 time ved anlegget i uken, og totalt 47 timer i året. Driftsteknikeren koster totalt 500 kr/timen, og 23 500 kr i året. Det antas et tillegg i driftskostnadene for VAV og DCV-anlegg på henholdsvis 50 kr/m<sup>2</sup> og 100 kr/m<sup>2</sup>, pga mer automatikk. For vedlikeholdskostnadene antas det at den årlige servicen koster 8000 kr. VAV-spjeld og sensorer må vedlikeholdes ytterligere. Det antas to delutskiftninger på VAV-spjeldene i løpet av levetiden, til 4000 kr pr. spjeld. For DCV skiftes alle sensorer ut 2 ganger i løpet av levetiden for 4000 kr pr. sensor. Disse tilleggskostnadene regnes som snittkostnader per år gjennom levetiden, og diskonteres totalt.

#### 4.1.2 Resultater av kostnadsberegninger

Det er forventet at DCV og VAV/CAV vil ha høyere livløpskostnader som følger av høyere initialkostnader og drifts- og vedlikeholdskostnader på grunn av mer automatikk. Alle resultatene er gitt som kr/m<sup>2</sup>.

Tabell 4.2.3: Initialkostnader

<b>System</b>	<b>Initialkostnader IC pr. m<sup>2</sup></b>		
	Plan- og administrasjonskostnad	Anleggskostnad	Total IC
<b>CAV</b>	kr 101,4	kr 507,0	kr 608,4
<b>VAV/CAV</b>	kr 148,4	kr 741,8	kr 890,1
<b>DCV</b>	kr 171,8	kr 859,1	kr 1 031,0

Tabell 4.2.4: Nåverdifaktor, NPV

System	Nåverdifaktor NPV pr. m <sup>2</sup>		
	Disk. Rente, r	Levetid (år), N	NPV-faktor
CAV	5,0 %	20	12,462
VAV/CAV	5,0 %	20	12,462
DCV	5,0 %	20	12,462

DCV har høyest initialkostnader, IC, med 1031 kr/m<sup>2</sup> og deretter følger VAV/CAV med 890 kr/m<sup>2</sup> og den rimeligste initiale investeringen er CAV-løsningen med 608 kr/m<sup>2</sup>. Nåverdifaktoren blir ved lik diskonteringsrente og levetid for alle anleggstypene lik 12,462.

Tabell 4.2.5: Energikostnader, drift- og vedlikeholdskostnader

System	Årlige energi-, drift- og vedlikeholdskostnader - EC pr. m <sup>2</sup>			TOTAL
	Energi	Drift	Vedlikehold	
CAV 1.0	kr 8,1	kr 275,8	kr 93,9	kr 377,8
CAV 2.0	kr 15,4	kr 275,8	kr 93,9	kr 385,1
VAV/CAV 1.0	kr 6,3	kr 325,8	kr 98,6	kr 430,7
VAV/CAV 2.0	kr 9,4	kr 325,8	kr 98,6	kr 433,8
DCV 1.0	kr 10,6	kr 375,8	kr 126,8	kr 513,2
DCV 2.0	kr 11,3	kr 375,8	kr 126,8	kr 513,9

Tabell 4.2.6: Livsløpskostnader

System	Livsløpskostnader pr. m <sup>2</sup>
CAV 1.0	kr 5 316,34
CAV 2.0	kr 5 407,71
VAV/CAV 1.0	kr 6 257,92
VAV/CAV 2.0	kr 6 295,80
DCV 1.0	kr 7 426,52
DCV 2.0	kr 7 434,75

For de årlige energi-, drift- og vedlikeholdskostnadene gitt i Tabell 4.2.5 fremgår det at DCV-løsningene er mest kostbare og CAV-løsningene minst kostbare. Energikostnadene står for en liten del av de totale kostnadene per år, ut fra de antagelsene som er gjort for drift- og vedlikeholdskostnader for disse anleggene.

DCV-løsningene de høyeste livsløpskostnadene, gitt av Tabell 4.2.6. CAV-løsningene er de rimeligste alternativene. Dette kommer av at energikostnadene for DCV ikke er redusert i forhold til CAV og VAV/CAV, samt at initialkostnadene til DCV-løsningene er også høyere enn for de løsningene med de antagelsene som er gjort her.

DCV ikke er et kostnadseffektivt alternativ for denne type boliger, under de forholdene som gjelder for denne oppgaven. Dette vil bli diskutert nærmere del 4.4 og i kapittel 5. Diskusjon.

### 4.3 Inneklimatiske forhold

Et viktig kriterium for et velfungerende anlegg for omsorgsleilighetene er at det tilfredsstiller et høyt nivå for de inneklimatiske forholdene. Dette er spesielt viktig med tanke på at beboerne er eldre og pleietrengende mennesker. Dersom anlegget ikke tilfredsstiller kravene gitt i Tabell 4.3.1 under, antas anlegget å være uegnet. Alle de inneklimatiske resultatene er hentet fra årssimuleringene gjort i IDA ICE.

Tabell 4.3.1: Kriterier for inneklimatiske forhold

Maksimal prosentandel av tiden hvor operativ temperaturen overstiger 27 °C i verste sone	< 20 %
Prosentandel av tiden hvor operativ temperaturen overstiger 27 °C i gj.snitts-sone	< 10 %
Prosentandel av brukstimer hvor beboer opplever termisk misnøye	< 15 %
Maksimal PPD %	50 %
Maksimal operativ temperatur $T_o$	30 °C

Flere av bestemmelsesfaktorene har usikkerhet knyttet til seg, og vil gjelde over et begrenset tidsrom. Dette gjelder spesielt for prosentandelen hvor den operative temperaturen overstiger 27 °C. Denne er satt til < 10 % i løpet av et år, som et gjennomsnitt for sonene. I sommermånedene juni, juli og august er dette naturlig for et Oslo-klima. Den termiske misnøyen og maksimal PPD fra simuleringene skyldes hovedsakelig for høye temperaturer, når ventilasjonsanlegget ikke klarer å dekke kjølebehovet til boligen. I simuleringsmodellen er det ikke lagt inn at beboeren har mulighet til å åpne vinduer eller verandadører ved behov. Ved ekstra varme perioder ville dette kunne senke disse verdiene, og grenseverdiene er dermed satt såpass høye. Maksimal PPD gjelder kun over en kort tidsperiode, det samme gjelder for maksimal operativ temperatur.

Tabell 4.3.2: Inneklimatiske forhold, CAV 1.0

Prosentandel av tiden hvor operativ temperaturen overstiger 27 °C i verste sone	27 %
Prosentandel av tiden hvor operativ temperaturen overstiger 27 °C i gj.snitts-sone	16 %
Prosentandel av brukstimer hvor beboer opplever termisk misnøye	14 %
Maksimal PPD %	64 %
Maksimal operativ temperatur $T_o$	31,4 °C

## Klimatisering av omsorgsboliger

---

Tabell 4.3.3: Inneklimatiske forhold, CAV 2.0

Prosentandel av tiden hvor operativ temperaturen overstiger 27 °C i verste sone	5 %
Prosentandel av tiden hvor operativ temperaturen overstiger 27 °C i gj.snitts-sone	2 %
Prosentandel av brukstimer hvor beboer opplever termisk misnøye	14 %
Maksimal PPD %	41 %
Maksimal operativ temperatur $T_o$	28,9 °C

---

Tabell 4.3.4: Inneklimatiske forhold, VAV/CAV 1.0

Prosentandel av tiden hvor operativ temperaturen overstiger 27 °C i verste sone	31 %
Prosentandel av tiden hvor operativ temperaturen overstiger 27 °C i gj.snitts-sone	20 %
Prosentandel av brukstimer hvor beboer opplever termisk misnøye	14 %
Maksimal PPD %	64 %
Maksimal operativ temperatur $T_o$	31,2 °C

---

Tabell 4.3.5: Inneklimatiske forhold, VAV/CAV 2.0

Prosentandel av tiden hvor operativ temperaturen overstiger 27 °C i verste sone	19 %
Prosentandel av tiden hvor operativ temperaturen overstiger 27 °C i gj.snitts-sone	8 %
Prosentandel av brukstimer hvor beboer opplever termisk misnøye	13 %
Maksimal PPD %	49 %
Maksimal operativ temperatur $T_o$	30,3 °C

---



Tabell 4.3.6: Inneklimatiske forhold, DCV 1.0

Prosentandel av tiden hvor operativ temperaturen overstiger 27 °C i verste sone	30 %
Prosentandel av tiden hvor operativ temperaturen overstiger 27 °C i gj.snitts-sone	18 %
Prosentandel av brukstimer hvor beboer opplever termisk misnøye	10 %
Maksimal PPD %	72 %
Maksimal operativ temperatur $T_o$	31,6 °C

Tabell 4.3.7: Inneklimatiske forhold, DCV 2.0

Prosentandel av tiden hvor operativ temperaturen overstiger 27 °C i verste sone	9 %
Prosentandel av tiden hvor operativ temperaturen overstiger 27 °C i gj.snitts-sone	4 %
Prosentandel av brukstimer hvor beboer opplever termisk misnøye	8 %
Maksimal PPD %	30 %
Maksimal operativ temperatur $T_o$	29,2 °C

Nøkkeltallene fra de inneklimatiske resultatene for samtlige løsninger vil bli diskutert i del 4.4 Sammenligninger. Når det gjelder maksimale CO<sub>2</sub>-nivåer, der TEK10s krav på et maksimalt CO<sub>2</sub>-nivå lavere enn 1000 ppm gjelder, viste simuleringene at samtlige løsninger overholder dette kravet. Derfor er ikke disse resultatene vektlagt for de inneklimatiske forholdene.

#### 4.4 Sammenligning av de ulike løsningene

Her vil resultatene fra energisimuleringene, beregningene av livsløpskostnader og de inneklimateiske forholdene bli sammenlignet. Resultatene er markert med fargekoder som indikerer hvor gode er. **Grønt** representerer de beste resultatene, **oransje** noe dårligere resultater og **rødt** de dårligste resultatene. I den midtre kolonnen vises prosentvis besparelse fra dårligste løsning på henholdsvis total energibruk pr. m<sup>2</sup> og livsløpskostnader pr. m<sup>2</sup>.

Tabell 4.4.1: Sammenligning av resultater for de ulike løsningene

	Energibruk og kostnader		Besparelser fra dårligste løsning		Inneklimateiske forhold		
	Total energibruk kWh pr. m <sup>2</sup>	Livsløps-kostnader kr pr. m <sup>2</sup>	Prosentandel besparelse energi	Prosentandel besparelse kostnader	T <sub>o</sub> > 27 °C i gj.snitts-sone	Termisk misnøye %	Maks PPD %
CAV 1.0	8,06	kr 5 316,34	47,7 %	28,5 %	16 %	14 %	64 %
CAV 2.0	15,41	kr 5 407,71	0,0 %	27,3 %	5 %	14 %	41 %
VAV/CAV 1.0	6,3	kr 6 257,92	59,1 %	15,8 %	20 %	14 %	64 %
VAV/CAV 2.0	9,4	kr 6 295,80	39,0 %	15,3 %	8 %	13 %	49 %
DCV 1.0	10,2	kr 7 426,52	33,8 %	0,0 %	18 %	10 %	72 %
DCV 2.0	11,26	kr 7 434,75	26,9 %	0,0 %	4 %	8 %	30 %

Alle 2.0-løsninger, med økte luftmengder fra minimumskravene til TEK10, har betydelig bedre inneklimateiske forhold enn 1.0-løsningene med minimumsluftmengder. For å dekke kjølebehovet til omsorgsleilighetene og for å tilfredsstille kravene satt til de inneklimateiske forholdene er dermed alle 1.0-løsningene utelukket.

Når det gjelder energi- og kostnadseffektivitet skiller DCV-løsningene seg ut negativt. De er de klart mest kostbare løsningene og er heller ikke energieffektive nok under de rådende forholdene for simuleringene. DCV med styring etter CO<sub>2</sub> og temperatur er dermed en for kostbar løsning for omsorgsleilighetene. Det er ikke en klar korrelasjon mellom økte initialkostnader, samt kostnader knyttet til drift og vedlikehold, med lavere energibruk og reduserte energikostnader for disse DCV-løsningene. De er derfor dårlig egnet for omsorgsleilighetene. Derimot viser resultatene at DCV 2.0 gir de beste inneklimateiske forholdene, uten at den økte luftmengden påvirker energibruken i like stor grad som for

CAV- og VAV/CAV-løsningene. Hvis kostnadsaspektet og kompleksiteten til systemene ikke var et tema ville en DCV-løsning med økte luftmengder vært et godt alternativ.

De to alternativene som både er relativt kostnadseffektive og som tilfredsstillende de inneklimate forholdene er CAV 2.0 og VAV/CAV 2.0. Av disse er CAV 2.0 den minst energieffektive av alle løsningene, mens VAV/CAV 2.0 er den tredje mest energieffektive. Det ventileres dermed unødvendig mye med konstante, økte luftmengder fra minimumskravet, for CAV-løsningen.

Tiltross for en økning i livsløpskostnadene for VAV/CAV 2.0 viser energieffektiviteten at det er fornuftig å ventilere med tidsur-styrte variable luftmengder i stue/kjøkkenområdet, og med konstante luftmengder på soverommet.

#### 4.5 Valg av klimatiseringsmetode

Den valgte løsningen for klimatisering av omsorgsleilighetene er VAV/CAV 2.0. Denne løsningen er både energieffektiv og relativt kostnadseffektiv, samt at den oppfyller kravene satt til inneklimate. Det ventileres med variable luftmengder på stue/kjøkkenområdene. Et VAV-spjeld er styrt av et tidsur, og det ventileres med minimale luftmengder på natten når rommene ikke er i bruk. Det er valgt å ventilere med konstante luftmengder på soverommet og baderommet. Dette er gjort for å forenkle anlegget og fordi brukstiden er jevnere over et døgn her enn på stue/kjøkken-området.

Som resultatene viste var det ikke mulig å møte kjølebehovet til omsorgsleilighetene samt å møte kravene satt for inneklimate med minimumskravet fra TEK10. Minimumsluftmengdene ble derfor økt med 30 m<sup>3</sup>/h. De valgte luftmengdene er gjengitt i Tabell 4.5.1.

Tabell 4.5.1: Gjengitte valgte luftmengder for VAV/CAV 2.0

Rom	Tilluft [m <sup>3</sup> /h]	Avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Forsert avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Overstrømning hvis forsert avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Tilluft [l/s•m <sup>2</sup> ]	Avtrekk [l/s•m <sup>2</sup> ]
Baderom, CAV	0,0	54,0	108,0	54,0	0,00	2,14
Soverom, CAV	54,0	0,0	0,0	0,0	1,67	0,00
Stue/kjøkken VAV, maks	66,0	66,0	108,0	42,0	0,45	0,45
Stue/kjøkken VAV, min	23,8	23,8	108,0	82,2	0,30	0,30
Entre	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
<b>Total, maks</b>	120,0	120,0	216,0			
<b>Total, min</b>	77,8	77,8				

Denne klimatiseringsmetoden oppfyller ønsket om mer kostnadseffektiv, enklere løsning med tanke på styring og kompleksitet enn den faktiske løsningen brukt i prosjekteringen av omsorgsleilighetene på Ljabrubakken, som er en DCV-løsning styrt etter CO<sub>2</sub> og temperatur med totalt 4 VAV-spjeld. Videre er det en korrelasjon mellom økte livsløpskostnader for denne modellen med økt energieffektivitet.

Nøkkeltallene fra resultatene for den valgte løsningen er gjengitt i Tabell 4.5.2 under.

**Tabell 4.5.2: Gjengitte nøkkeltall for valgte klimatiseringsløsning VAV/CAV 2.0**

	Total energibruk kWh pr. m <sup>2</sup>	Livsløpskostnader kr pr. m <sup>2</sup>	T <sub>o</sub> > 27 °C i gj.snitts-sone	Termisk misnøye %	Maks PPD %
<b>VAV/CAV 2.0</b>	9,4	kr 6 295,80	8 %	13 %	49 %

Denne løsningen vil være godt egnet for små boenheter som omsorgsleiligheter, den er kostnads- og energieffektiv og den ivaretar et høyt nivå på de inneklimateiske forholdene, som er spesielt viktig for denne type boliger.

## 5. Diskusjon av simuleringer, resultater og antagelser

Det er viktig at de antagelsene og selvbestemte inputverdiene til simuleringene er så nært de faktiske forholdene som mulig. Dette sørger for at simuleringsresultater blir så realistiske som mulig. Som nevnt i del 1.4 peker Mavrogianni, A, et al. [6] på at den største usikkerheten knyttet til bygningers og systemers oppførsel ved simuleringer er påvirkning fra beboerne og bruken av boligen. Det var ikke mulig å innhente faktiske beboer- og brukskarakteristikker fra beboerne på Ljabrubakken Omsorgssenter da bygget fortsatt er under rehabilitering. De inputverdiene som er brukt er hentet fra et tilsvarende omsorgsboligsenter i Oslo. Disse er generelt antatt og trenger nødvendigvis ikke gjelde for en beboer på Ljabrubakken. De er basert på faktiske beboerkarakteristikker fra beboere på en tilsvarende omsorgsbolig og vil kunne gjelde i de fleste tilfeller. Simuleringsresultatene er allikevel noe usikre på grunn av dette.

Simuleringsresultater vil i de fleste tilfeller avvike fra noe de faktiske forholdene, dette gjelder også for denne oppgaven. Usikkerhet er knyttet til, foruten bruks- og beboerkarakteristikk, hvordan ventilasjonsanlegget og bygget oppfører seg. Det er benyttet forhåndsdefinert input fra IDA ICE når det gjelder sentralaggregatets størrelse og komponentenes verdier. Dette aggregatet er tilpasset størrelsen på simuleringsmodellen. Dette kan avvike noe fra de faktiske forholdene. Resultatene er gitt i kWh/m<sup>2</sup> for, blant annet, å kompensere for dette. Videre er det knyttet noe usikkerhet til hvordan oppvarmingssystemet påvirker ventilasjonsanleggenes ytelse. Det faktiske oppvarmingssystemet som installeres på Ljabrubakken er implementert i simuleringsmodellen. Derimot er størrelsen og inputverdiene på komponentene i systemet, som for ventilasjonsanlegget, forhåndsdefinert ut fra størrelsen på simuleringsmodellen i IDA ICE.

I simuleringsmodellen var det ikke tatt høyde for at beboerne kan åpne vinduer eller verandadører. Dette valget ble gjort fordi man i enkelttilfeller bør anta at en beboer selv ikke har mulighet til å gjøre dette på grunn av fysiske eller psykiske forutsetninger, og at ventilasjonsanleggene dermed bør møte kjølebehovet til leiligheten uansett utetemperatur. Med de valgte luftmengdene viste resultatene at ventilasjonsanleggene hadde vanskeligheter med å møte kjølebehovet til leilighetene på varme sommerdager, og at de inneklimateiske forholdene ble forverret i disse periodene. I realiteten kan det antas at de fleste beboerne ville luftet gjennom vinduer og dører ved behov, slik at forholdene hadde blitt bedret.

Inputverdiene for kostnadsberegningene er hentet fra medarbeidere i Ingénia AS, samt at driftkostnadene er beregnet på bakgrunn av driftstekniker Martin Thams Rønnings erfaringer fra drift av omsorgsboliger i Oslo Kommune. Disse tallene gir en god antagelse, men vil avvike fra det faktiske kostnadsbildet og tilslutt de reelle livsløpskostnadene til de ulike ventilasjonsanleggene.

## 6. Konklusjon og forslag til videre arbeid

### 6.1 Konklusjon

Det er for denne masteroppgaven utført et litteratursøk, det utført årssimuleringer i IDA ICE for tre ulike klimatiseringsmetoder egnet for omsorgsboliger, samt at livsløpskostnadene til de ulike metodene er blitt beregnet. Metodene var ventilering med konstante luftmengder CAV, en kombinert løsning med variable og konstante luftmengder VAV/CAV, samt en behovsstyrt løsning med styring etter CO<sub>2</sub> og temperatur DCV. Disse ble vurdert opp mot hverandre på bakgrunn av energieffektivitet, kostnadseffektivitet i et livsløpsperspektiv og nivå på de inneklimateiske forholdene. Litteratursøket omfatter teori knyttet til energieffektive og kostnadseffektive ventilasjonsanlegg egnet for små boenheter, samt forskningartikler som omhandler inneklimate tilpasset eldre og pleietrengende mennesker.

Resultatene fra energisimuleringene viste at DCV-løsningen ikke var energibesparende i forhold til CAV- og VAV/CAV-løsningene. Dette skyldes den nokså konstante brukstiden av omsorgsleilighetene over et døgn, de relativt små luftmengdene og at en variasjon av luftmengder øker energibruken til viftedrift. Det viste seg vanskelig å oppnå tilfredsstillende inneklimateiske forhold med minimumsluftmengdene fra TEK 10. Dermed er økte luftmengder fra minimumskravene en forutsetning for å oppnå gode inneklimateiske forhold for denne type boliger. Dette er spesielt viktig med tanke på at beboerne er eldre og pleietrengende personer.

Beregningene for livsløpskostnadene viste at DCV-løsningen er den mest kostbare løsningen på grunn av høyere initalt kostnader og høyere kostnader til drift og vedlikehold. CAV-løsningen er de mest kostnadseffektive, mens den kombinerte VAV/CAV-løsningen er noe mindre kostnadseffektiv med derimot mer energieffektiv. Det kan konkluderes med at når DCV-løsningene med mer automatikk ikke står for signifikante besparelser i energibruk, er disse ikke egnet for omsorgsboliger da de er verken kostnadseffektive eller energieffektive under de rådende forholdene.

Den valgte løsningen for klimatisering av omsorgsboliger er den kombinerte VAV/CAV-løsningen med økte luftmengder fra minimumskravet i TEK 10. Det ventileres med et minimum på natten i stue/kjøkken-området når rommene ikke er i bruk og med konstante luftmengder på soverommet og baderommet. Det uttalte målet med oppgaven er oppfylt. Det er påvist at en enklere mer kostnadseffektiv løsning enn den reelle løsningen på Ljabrubakken er bedre egnet for denne type boliger, samtidig som et høyt nivå på de inneklimateiske forholdene er opprettholdt. For det valgte systemet er det en korrelasjon mellom økte livsløpskostnader med økte besparelser i energibruk. Systemet svarer også til en delmålsetning da det har betydelig mindre automatikk enn det faktiske anlegget på Ljabrubakken, og skal være enklere og mer funksjonelt å drifte slik at driftspersonell enkelt kan operere og vedlikeholde systemet.

## 6.2 Forslag til videre arbeid

Når rehabiliteringen av bygningsmassen på Ljabrubakken er ferdigstilt kan det foretas en grundig undersøkelse av det faktiske anlegget, rundt energibruken og de faktiske kostnadene. Det kan foretas målinger av det installerte systemet og påvirkningen på inneklimaet for å undersøke den faktiske ytelsen til anlegget. En detaljert økonomisk analyse av det faktiske anlegget kan gjennomføres for å vurdere om kostnadsbildet er slik som beregnet i denne oppgaven. Beboere og driftsteknikere kan intervjues for å få førstehandsberetninger om oppfattelsen av ventilasjonen og hvordan det er å drifte og å vedlikeholde. Både målinger, en detaljert økonomisk analyse av det faktiske anlegget og erfaringer fra de faktiske beboerne om driftsteknikerne kan være med på underbygge resultatene fra denne oppgaven.

Det kan videre bli gjennomført en sensitivtetsanalyse av kostnadsberegningene i denne oppgaven. En del av tallene er basert på antagelser og erfaringer fra medarbeider i Ingénia AS og driftstekniker Martin Thams Rønning. De faktiske tallene vil variere fra inputverdiene brukt her, og en grundig sensitivtetsanalyse kan bli gjennomført for å studere kostnadsberegningene nærmere.

Resultatene for de inneklimatiske forholdene viste at kjølebehovet til omsorgsleilighetene var vanskelig å dekke på sommerstid. Det er ikke installert noe kjølebatteri i sentralaggregatet og frikjøling fra varmepumpen utnyttes ikke. I et videre arbeid kan det undersøkes hvorvidt det er økonomisk forsvarlig å kjøle tilluften med et kjølebatteri i sentralaggregatet for å møte kjølebehovet til leilighetene. Kjøling av tilluften benyttes ofte på sykehjem, og det er grunn til å undersøke hvorvidt dette også kan være gunstig for omsorgsboliger. Frikjøling fra det varmepumpende systemet bør også vurderes sterkt. Dette kan i tillegg til lettere å møte kjølebehovet til leilighetene, øke ytelsen til varmepumpen.

## Referanser

1. Byggforsk, S., *Omsorgsboliger Utforming, størrelse og standard*, in *Byggforskserien*, SINTEF, Editor. 1995: Oslo.
2. Ingénia, *Fasadetegning Ljabrubakken*. 2014.
3. Roberts, C., A. Rhodes, and A. Hespe, *Analyze the lifecycle of HVAC systems: Performing a series of cost analyses when designing HVAC systems is an economically justifiable method for selecting the appropriate design solution*. Consulting-Specifying Engineer, 2012. **49**(2): p. 34-38.
4. Mysen, M., J.P. Rydock, and P.O. Tjelflaat, *Demand controlled ventilation for office cubicles - Can it be profitable?* Energy and Buildings, 2003. **35**(7): p. 657-662.
5. Byggforvaltning, D.f., *Veiledning om tekniske krav til boenhet, TEK10*, in *§13-2 Ventilasjon for boenhet*, D.f. Byggforvaltning, Editor. 2014.
6. Mavrogianni, A., et al., *The impact of occupancy patterns, occupant-controlled ventilation and shading on indoor overheating risk in domestic environments*. Building and Environment, 2014. **78**: p. 183-198.
7. Byggforsk, S., *Balansert ventilasjon av leiligheter*, in *Byggforskserien*, SINTEF, Editor. 2008: Oslo.
8. Byggforsk, S., *Ventilasjon av boliger - Prinsipper og behov*, in *Byggforskserien*, SINTEF, Editor. 1994: Oslo.
9. Byggforsk, S., *Fordeling av ventilasjonsluft i rom*, in *Byggforskserien*, SINTEF, Editor. 1996: Oslo.
10. Svensson, A.P.A., *AIR Swegon Air Academy*, ISBN 978-91-977443-1-7. 2008.
11. Nilsson, P.E., *Achieving the desired indoor climate*, ISBN 91-44-03235-8. 2003: Studentlitteratur.
12. Byggforsk, S., *Behovsstyrt ventilasjon*, in *Byggforskserien*, SINTEF, Editor. 2005: Oslo.
13. Pavlovas, V., *Demand controlled ventilation: A case study for existing Swedish multifamily buildings*. Energy and Buildings, 2004. **36**(10 SPEC. ISS.): p. 1029-1034.
14. Fisk, W.J. and A.T. De Almeida, *Sensor-based demand-controlled ventilation: A review*. Energy and Buildings, 1998. **29**(1): p. 35-45.
15. Standard, N., *NS3700: 2013, Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Boligbygninger*, N. Standard, Editor. 2013.
16. Byggforsk, S., *Prosjektering av energieffektive ventilasjonsanlegg*, in *Byggforskserien*, SINTEF, Editor. 2000: Oslo.
17. Mathisen, P.H.M., *Forelesningsfoiler i TEP14 "Indoor Environment and the Climatization of Buildings"*, NTNU. 2013.



18. Byggforsk, S., *Viftestøy og energiforbruk til vifter*, in *Byggforskserien*, SINTEF, Editor. 2002: Oslo.
19. Byggforsk, S., *Støy i rom fra ventilasjonsanlegg*, in *Byggforskserien*, SINTEF, Editor. 1988: Oslo.
20. Byggforvaltning, D.f., *Veiledning om tekniske krav til boenhet, TEK10*, in *§13-9 Støy fra byggt tekniske installasjoner og utendørs lyd kilder*, D.f. Byggforvaltning, Editor. 2014.
21. Standard, N., *NS8175 Lydforhold i bygninger, lydklasser for ulike bygningstyper*, N. Standard, Editor. 2012.
22. van Hoof, J., et al., *Thermal comfort and the integrated design of homes for older people with dementia*. *Building and Environment*, 2010. **45**(2): p. 358-370.
23. Schellen, L., et al., *Differences between young adults and elderly in thermal comfort, productivity, and thermal physiology in response to a moderate temperature drift and a steady-state condition*. *Indoor Air*, 2010. **20**(4): p. 273-283.
24. Fanger, P.O., *What is IAQ?* *Indoor Air* 2006, 2006. **16**: p. 328-334.
25. Rønning, M.T., *Driftstekniker Omsorgsbygg, Oslo Kommune*, M.K. Eriksen, Editor. 2014.
26. Bichiou, Y. and M. Krarti, *Optimization of envelope and HVAC systems selection for residential buildings*. *Energy and Buildings*, 2011. **43**(12): p. 3373-3382.
27. Alkaoui, S., *Ammerudtunet Bosenter*, M.K. Eriksen, Editor. 2014.
28. Nielsen, T.R. and C. Drivsholm, *Energy efficient demand controlled ventilation in single family houses*. *Energy and Buildings*, 2010. **42**(11): p. 1995-1998.
29. Systemair. *Balance-S-125 Tilluftventil*, <http://www.systemair.no>. 2014.
30. Systemair. *Balance-S-160 Avtrekksventil*, <http://www.systemair.no>. 2014.
31. Ingénia, *Kostnadsaspekter ved ventilasjonsløsninger*, M.K. Eriksen, Editor. 2014.

## Vedlegg

### Vedlegg A – Energibruk ulike løsninger, månedlig

CAV 1.0 – Energibruk, månedlig

Month	Heating	AHU heat recovery	Fans	Pumps
1	95.6	250.1	23.8	3.6
2	63.9	201.8	21.6	2.7
3	52.5	210.8	23.9	2.1
4	20.3	173.0	23.2	1.1
5	2.6	79.4	24.1	1.1
6	0.0	39.5	23.4	1.0
7	0.0	14.1	24.3	1.4
8	0.0	16.6	24.3	1.2
9	1.9	83.4	23.4	0.9
10	13.4	148.9	24.0	1.4
11	48.8	191.4	23.1	2.7
12	80.1	227.3	23.9	3.3
<b>Total</b>	<b>379.1</b>	<b>1636.2</b>	<b>282.9</b>	<b>22.5</b>
<b>Total kWh pr. m<sup>2</sup></b>	<b>4,5</b>	<b>19,2</b>	<b>3,3</b>	<b>0,26</b>

## Klimatisering av omsorgsboliger

### CAV 2.0 - Energibruk, månedlig

Month	Heating	AHU heat recovery	Fans	Pumps
1	184.8	453.1	44.0	4.0
2	125.7	364.7	39.8	3.3
3	106.8	379.2	44.1	2.8
4	48.5	308.2	42.8	1.6
5	7.5	143.9	44.6	1.2
6	0.0	72.9	43.2	1.1
7	0.0	26.2	44.8	1.5
8	0.0	30.6	44.8	1.3
9	6.5	151.0	43.1	1.1
10	33.2	266.5	44.3	2.2
11	99.2	344.1	42.7	3.3
12	156.5	410.7	44.1	3.8
<b>Total</b>	<b>768.7</b>	<b>2951.0</b>	<b>522.3</b>	<b>27.1</b>
<b>Total kWh pr. m<sup>2</sup></b>	<b>9.0</b>	<b>34,6</b>	<b>6,1</b>	<b>0,31</b>

## Klimatisering av omsorgsboliger

### VAV/CAV 1.0 - Energibruk, månedlig

Month	Heating	AHU heat recovery	Fans	Pumps
1	31.3	264.5	36.1	3.3
2	16.6	210.6	32.7	2.4
3	11.1	212.5	36.2	1.8
4	0.4	163.3	35.1	1.1
5	0.0	66.7	36.5	1.0
6	0.0	31.1	35.4	1.0
7	0.0	10.6	36.6	1.3
8	0.0	12.7	36.6	1.2
9	0.0	70.5	35.3	0.9
10	0.6	137.1	36.4	1.2
11	8.7	197.5	35.1	2.3
12	24.5	239.9	36.1	2.9
<b>Total</b>	<b>93.2</b>	<b>1617.0</b>	<b>427.9</b>	<b>20.6</b>
<b>Total kWh pr. m<sup>2</sup></b>	<b>1,09</b>	<b>18,9</b>	<b>5,0</b>	<b>0,24</b>

## Klimatisering av omsorgsboliger

### VAV/CAV 2.0 - Energibruk, månedlig

Month	Heating	AHU heat recovery	Fans	Pumps
1	63.5	398.4	47.8	3.7
2	36.6	317.6	43.3	2.8
3	24.2	321.3	48.0	2.1
4	3.0	248.4	46.6	1.2
5	0.0	97.4	48.4	1.1
6	0.0	43.4	47.0	1.1
7	0.0	13.7	48.5	1.5
8	0.0	16.9	48.5	1.2
9	0.2	105.2	46.9	0.9
10	2.4	210.3	48.3	1.6
11	22.0	301.0	46.5	2.7
12	50.8	364.7	47.9	3.3
<b>Total</b>	<b>202.7</b>	<b>2438.4</b>	<b>567.5</b>	<b>23.2</b>
<b>Total kWh pr. m<sup>2</sup></b>	<b>2,4</b>	<b>28,6</b>	<b>6,7</b>	<b>0,27</b>

## Klimatisering av omsorgsboliger

### DCV 1.0 - Energibruk, månedlig

Month	Heating	AHU heat recovery	Fans	Pumps
1	96.7	249.2	23.2	1.9
2	64.3	206.3	21.3	1.2
3	50.9	257.5	28.5	1.0
4	19.8	311.8	41.9	0.9
5	2.2	172.3	57.8	0.9
6	0.0	100.8	60.8	0.9
7	0.0	36.6	63.3	1.3
8	0.0	42.1	62.9	1.2
9	1.9	155.4	49.5	0.9
10	9.1	213.9	34.3	0.9
11	44.0	211.0	24.1	1.1
12	80.8	232.0	23.9	1.6
<b>Total</b>	<b>369.6</b>	<b>2188.9</b>	<b>491.5</b>	<b>13.7</b>
<b>Total kWh pr. m<sup>2</sup></b>	<b>4,3</b>	<b>25,7</b>	<b>5,8</b>	<b>0,16</b>

## Klimatisering av omsorgsboliger

### DCV 2.0 - Energibruk, månedlig

Month	Heating	AHU heat recovery	Fans	Pumps
1	96.7	249.1	23.2	1.9
2	65.2	208.6	21.6	1.2
3	54.8	273.4	30.7	1.0
4	23.5	328.3	45.6	0.9
5	2.8	194.6	70.7	0.9
6	0.0	119.1	76.8	1.0
7	0.0	42.7	80.9	1.5
8	0.0	46.0	77.4	1.3
9	2.2	161.8	54.4	0.9
10	11.1	224.9	36.6	0.9
11	45.8	216.1	24.9	1.1
12	81.6	234.3	24.3	1.6
<b>Total</b>	<b>383.6</b>	<b>2299.0</b>	<b>567.0</b>	<b>14.1</b>
<b>Total kWh pr. m<sup>2</sup></b>	<b>4,5</b>	<b>26,9</b>	<b>6,6</b>	<b>0,16</b>

## Vedlegg B – Beregninger av luftmengde

### Dimensjonerende luftmengder omsorgsleiligheter

TEK 10 - kravspesifikasjoner boenhet	
Luftmengde	Beregning
Min. gjennomsnittlig luftmengde	1,2 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> *h)
Soverom per pers.	26,0 m <sup>3</sup> /(pers* h)
Min. utenfor bebodde tid	0,7 m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> *h)

TEK 10 - Avtrekksvolum i bolig			
Rom	Grunn-ventilasjon	Forsert ventilasjon	Beregning
Kjøkken	36,0	108 m <sup>3</sup> /h	108 m <sup>3</sup> /h
Bad m/toilett	54,0	108 m <sup>3</sup> /h	108 m <sup>3</sup> /h

Romoversett simulerte leiligheter			
Rom	Tilluftsentil	Avtrekk	
Baderom	-	X	
Soverom	X	-	
Stue/kjøkken	X	X	
Entre	-	-	

### VENTILASJON

Romtype	Behov TEK10		Valgte luftmengder CAV1.0					
	Person-belestning [m <sup>3</sup> /h]	Dimensjonerende per rom [m <sup>3</sup> /h]	Tilluft [m <sup>3</sup> /h]	Avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Forsert avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Overstrømming hvis forsert avtrekk [m <sup>3</sup> /h]	Tilluft fra ventili [l/s·m <sup>2</sup> ]	Avtrekk [l/s·m <sup>2</sup> ]
Baderom	7,0	-	0,0	54,0	108,0	54,0	0,00	2,14
Soverom	9,0	54,0	54,0	0,0	0,0	0,0	1,67	0,00
Stue og kjøkken	22,0	36,0	36,0	36,0	108,0	72,0	0,45	0,45
Entre	4,0	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
<b>SUM</b>			<b>90,0</b>	<b>90,0</b>	<b>216,0</b>			
<i>Snitt pr. m<sup>2</sup></i>			<b>2,1</b>					