NTNU
Det skapende universitet

Behovsstyrt og behovstilpasset klimatisering - energibruk og inneklima

Sveinung Alsaker

Master i energi og miljø
Oppgaven levert: Juni 2007
Hovedveileder: Sten Olaf Hanssen, EPT
Biveileder(e): Johan Halvarsson, EPT
Hans Martin Mathisen, EPT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for energi og prosessteknikk

Oppgavetekst

I moderne yrkesbygg er forurensningsbelastning og bruksmønster et avgjørende dimensjoneringskriterium for klimaanleggenes utforming og driftskarakteristika. Imidlertid har vi frem til i dag relativt liten oversikt over samtidighet og tilstedeværelse i byggene. I prosjektoppgaven høsten 2006 har kandidaten undersøkt problemstillingen ” Tilstedeværelse i yrkesbygg som dimensjoneringskriterium - energibruk og inneklima” for å finne ut av i hvilken grad hensyn til dette vil kunne redusere størrelsen på de tekniske installasjoner og energibruk i bygget signifikant samtidig som kravene til inneklima og arbeidsmiljø opprettholdes.

Denne Masteroppgaven representerer en videreføring av dette arbeidet. Oppgaven kan naturlig knyttes opp mot et Nordisk prosjekt (Demand controlled ventilation systems for energy efficiency and good indoor climate) som for tiden gjennomføres som et samarbeide mellom Chalmers tekniska högskola (CTH) i Sverige, Statens Byggeforskningsinstitut (SBi) i Danmark og Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet (NTNU) i Norge.

Oppgaven gitt: 16. januar 2007
Hovedveileder: Sten Olaf Hanssen, EPT

Forord

Denne oppgaven er en Masteroppgave ved Norges teknisk Naturvitenskapelige Universitet i Trondheim og ble laget våren 2007.06.11

Jeg vil takke mine veiledere, professor Sten Olaf Hanssen og stipendiat Johan Halvarsson ved NTNU samt seniorforsker ved Sintef Energiforskning, Hans Martin Mathisen. En ekstra takk for hjelpen til Johan, som har vært til stor hjelp i forbindelse med tilstedeværelsesanalysen.

Jeg vil også takke Kjell Skorild i Gassco for å ha muliggjort logging av tilstedeværelse og regulering på deres bygg, og for å ha betalt for denne loggingen.

Bjørn Sømme i T.A.C. har også vært til stor hjelp i forbindelse med gjennomføringen av logging og forklaring av reguleringsprinsipper som er brukt på bygget. Til slutt vil jeg takke Håvard V. Hjelmervik i Ferkingstad og Alsaker AS for all hjelp i forbindelse med Gassco.

_____

Sveinung Alsaker, Trondheim 2007

Innholdsfortegnelse

1. Innledning ... 1
1.1. Bakgrunn ... 1
1.2. Disposisjon ... 2
1.3. Hensikt og mål ... 2
1.4. Metode og avgrensninger ... 2
2. Prosedyrer ved prosjektering av hybrid ventilasjon ... 5
2.1. Luftkvalitet ... 5
2.1.1. Ventilasjonsanlegget ... 6
2.1.2. Ventilert sone ... 6
2.1.3. Luftkvalitet og hybrid ventilasjon ... 7
2.2. Prosjektering av hybride ventilasjonanlegg ... 8
2.2.1. Integrert planlegging ... 8
2.2.2. Tiltak for å redusere behovene ... 10
2.3. Hybride prosedyrer og mekanisk balansert ventilasjon ... 12
2.3.1. Overstrømningsventilasjon ... 12
2.3.2. Fortrengningsventilasjon ... 13
2.3.3. Årstilpasset luftmengde ... 17
2.3.4. Trykkfall ... 18
2.4. Diskusjon ... 19
2.5. Oppsummering ... 23
3. Samspill mellom ventilasjonsløsning og bygning ... 24
3.1. Bruksmønster ... 24
3.1.1. Jevnt lavt bruksmønster ... 25
3.1.2. Jevnt høyt bruksmønster ... 25
3.1.3. Lavt, varierende bruksmønster ... 26
3.1.4. Høyt, varierende bruksmønster ... 26
3.1.5. Sterkt varierende bruksmønster ... 27
3.1.6. Bruksmønster og ventilasjonsløsning ... 27
3.2. Bygningsform ... 28
3.2.1. Smalt, langt bygg, 1-2 etasjer ... 28
3.2.2. Lavt, kompakt bygg ... 29
3.2.3. Bygg med 3-6 etasjer ... 30
3.2.4. Arealeffektivitet ... 30
3.3. Temperaturvariasjon og bygningskropp ... 31
3.3.1. Bygg med kjølebehov ... 32
3.3.2. Bygg uten kjølebehov ... 35
3.4. Diskusjon ... 39
3.5. Oppsummering ... 41
4. DCV i praksis ... 42
4.1. Bygget ... 42

4.1.1. Bruksmønster ... 43
4.1.2. Klima ... 43
4.1.3. Reguleringsprinsipp ... 43
4.1.4. Logging ... 45
4.1.5. Behandling av data ... 48
4.2. Tilstedeværelse på Gassco ... 49
4.2.1. Tilstedeværelse og driftstid ... 51
4.2.2. Sensorplassering ... 55
4.3. Reguleringsfunksjonalitet ... 57
4.3.1. Cellekontor ... 57
4.3.2. Møterom ... 61
4.4. Energi og effektforbruk ... 62
4.4.1. Cellekontor ... 63
4.4.2. Møterom ... 66
4.5. FDVU, forvaltning drift vedlikehold og utvikling ... 67
4.6. Diskusjon ... 69
4.6.1. Tilstedeværelse ... 69
4.6.2. Regulering ... 70
4.6.3. Energiforbruk ... 72
4.6.4. EiB ... 73
5. Oppsummering ... 78
6. Konklusjon ... 79
7. Forslag til videre arbeid ... 81
8. Referanseliste ... 83

Vedlegg A, soneinndeling på Gassco ... 86
Vedlegg B, Situasjonsplan over Gassco ... 87
Vedlegg C, figurer fra regulering på Gassco ... 88
Vedlegg D, simulering i Energi i Bygninger (EiB) ... 92
Vedlegg E, simulert temperatur mot virkelig temperatur ... 101
Vedlegg F, skript fra matlab ... 102
Vedlegg G, datablad for tilstedeværelsessensor ... 112

Liste over tabeller

Tabell 2-1, årstilpasset ventilasjon, fordeler og ulemper 17
Tabell 3-1, bruksmønster og ventilasjonsløsning. 27
Tabell 3-2, systemtype i smalt langt bygg, 1-2 etasjer. 29
Tabell 3-3, fordeler og ulemper ved ulike systemtyper i bygg med kjølebehov. 35
Tabell 3-4, fordeler og ulemper med ulike ventilasjonssystem i bygning uten kjølebehov. 38
Tabell 4-1, utrag fra loggdata fra Gassco..... 46
Tabell 4-2, gjennomsnittlig tilstedeværelse fordelt på soner. 53
Tabell 4-3, gjennomsnittlig tilstedeværelse på møterom ved to ulike driftstider. 55
Tabell 4-4, maksimums og minimumstemperatur registrert på cellekontorene. 58
Tabell 4-5, maksimums og minimumsverdier for ulike målte parametere i møterom. 61
Tabell 4-6, de viktigste parameterinnstillingene gjort i EiB. 64
Tabell 4-7, netto energibehov for DCV- og CAV-system ved simulering av cellekontor i ulike himmelretninger. 64
Tabell 4-8, oppdelt simulert besparelse i prosentenheter..... 66
Tabell 4-9, alternativ simulering med endret tilnærming for DCV-luftmengden..... 76

Liste over figurer

Figur 2-1, prinsippskisse for overstrømningsventilasjon. (ill: Sveinung Alsaker) 13
Figur 2-2, variert luftmengde og fortrengningsventilasjon (\14\) 14
Figur 2-3, forlag til reguleringsstrategi for fortregningsventilasjon i kantine. 16
Figur 3-1, regulering av varmepådrag ved ulik romtemperatur (ill: Sveinung Alsaker) .. 31
Figur 3-2, flytskjema for nattkjøling iht. \2\ (ill: Sveinung Alsaker)..... 33
Figur 4-1, reguleringsprinsipp for radiator og tilluft ved tilstedeværelse på cellekontor. 44
Figur 4-2, reguleringsprinsipp for radiator og tilluft i tomt cellekontor. 44
Figur 4-3, tilstedeværelse på Gassco 49
Figur 4-4, sortert gjennomsnittlig tilstedeværelse på 86 cellekontor på Gassco 51
Figur 4-5, gjennomsnittlig tilstedeværelse i forhold til driftstid..... 52
Figur 4-6, gjennomsnittlig tilstedeværelse fordelt på soner (driftstid 07:00 til 21:00)..... 53
Figur 4-7, tilstedeværelse for møterom på Gassco 54
Figur 4-8, teoretisk deteksjon ut kontordør som følge av sensortype..... 56
Figur 4-9, reguleringsdata fra cellekontor nummer 6, 9.2.2007. (Legg merke til at øverste graf er litt forskjøvet i forhold til klokkeslett) 57
Figur 4-10, regulering, cellekontor nummer 9, 9-10 februar 2007 59
Figur 4-11, besparelse for cellekontor med fasade mot vest fordelt på berørte komponenter. 65
Figur 4-12, tilstedeværelse og driftstid på Gassco..... 73
Figur 4-13, figur over simulerte luftmengder i EiB..... 74

Definisjon av utrykk

Tilpasningsdyktighet
Byggets evne til å håndtere fremtidige endringer. Summen av generalitet, elastisitet og fleksibilitet.

Olf
En olf er emisjonen av forurensinger fra en voksen stillesittende person i termisk komfort med omgivelsene. Det forutsettes at personen bader hver 1,6 dag og skifter undertøy hver dag. Man kvantifiserer andre forurensingskilder i forhold til denne olf-enheten (\6\).

Decipol
En decipol defineres i Energibruk i bygninger (\6\) som; *den av mennesker opplevde forurensingen som forårsakes av 1 olf i et rom som ventileres med en luktfri frisk luft med tilførsel 10 l/s*

Tilstedeværelsesfaktor
Mysen et al. (\22\) definerer tilstedeværelsesfaktoren som antall okkuperte cellekontor i forhold til totalt antall cellekontor. I denne oppgaven brukes også begrepet om antall personer i et rom i forhold til dimensjonerende antall personer i rommet.

Samtidighetsfaktor
Mysen et al. (\22\) definerer samtidighetsfaktor (s) som;
$s = o + b + bo$, der o er tilstedeværelsesfaktoren og b er minimums ventilasjonsratefaktor dvs. forholdet mellom ventilasjon for et uokkupert rom og ventilasjon for et okkupert rom. Dette utrykket gjelder dermed for cellekontor.

1. Innledning

I dagens moderne bygninger er et høyt energiforbruk et problem både for samfunnet og for beboerne. Ved oppføring og ombygging av bygninger i dag fokuseres det altfor ofte på byggekostnader mens driftskostnader havner på sidelinjen. Mer fokus på samfunns-økonomiske følger av dette og en høyere energipris gjør det nødvendig å gjennomgå ulike problemstillinger ved energieffektiviteten for bygninger.

Behovsstyrt ventilasjon bruker ofte tilstedeværelse og CO_2-nivå som grunnlag for å tilpasse luftmengden etter behovet. På den måten vil man få et mer riktig forbruk etter hvordan bygningen brukes. Med behovsstyring kommer også ofte temperaturkontroll og dermed får man en mer integrert løsning mellom teknisk anlegg og bygningskroppen. Denne oppgaven vil se på hvilke følger denne integreringen får på energiforbruket og hvordan behovsstyring går sammen med bygningen i forhold til andre løsninger.

Bygg med hybride ventilasjonsanlegg kjennetegnes med svært høy grad av integrert løsning og gjerne lavt energiforbruk. Prosedyrer i forbindelse med prosjektering av slike anlegg kan derfor være interessant å se i sammenheng med mekanisk behovsstyrte ventilasjonsanlegg.

Ved å prosjektere etter tilstedeværelse vil man identifisere muligheter for mer brukstilpassede installasjoner slik at energiforbruket blir lavere. For å utnytte dette kan det være hensiktsmessig å installere behovstyrt ventilasjon. Det finnes bygninger i dag som er prosjektert med behovstyrt ventilasjon og på den måten reduserer energibruken ved å kun ventilere når og hvor det er behov. Slike anlegg vil ha høyere investeringskostnad, mens driftskostnadene kan bli dramatisk redusert. Anlegg som dette skal sees nærmere på i oppgaven.

1.1. Bakgrunn

I dagens bygninger krever driften av de tekniske anleggene ofte opptil 50 % av elektrisitetsforbruket og 40 % av den totale energibruken, noe som sterkt påvirker både driftsøkonomi og samfunnsmessig bærekraft på lang sikt. Med økende energipriser og et økende internasjonalt press for å redusere bruken av høyverdig energi, vil krav om energieffektive løsninger bli mer og mer aktuelt.

Energistatistikk fra kontorbygg i Norge viser en tendens der nyere og mer avanserte bygninger bruker mer energi enn eldre bygninger. Økt kunnskap om de globale følgene av høyt energiforbruk gjør at det er nødvendig å forsøke å redusere unødvendig energiforbruk. Både behovsstyrte mekaniske ventilasjonsanlegg og hybride løsninger er aktuelle for å senke bygningers energiforbruk.

Hvis man ser på energiforbruk i dagens bygninger fra et samfunnsøkonomisk synspunkt vil all reduksjon sannsynligvis være positiv så lenge ikke kostnadene forbundet med reduksjonen gjør at bedriften går konkurs eller må si opp arbeidstakere.

Fra et bedriftsøkonomisk synspunkt vil konvertering til et DCV anlegg kun bli realisert hvis investeringskostnadene blir tilbakebetalt innen rimelig kort tid i form av redusert energiforbruk. Siden man har liten grad av pålegg fra myndighetenes side om å behovsstyre ventilasjon (\1\) vil dermed bedriftsøkonomiske betraktninger i stor grad avgjøre om man får realisert DCV.

1.2. Disposisjon

Disposisjonen på oppgaven følger punktene som er satt opp i oppgaveteksten.

Første del (kapittel 2) ser på bruk av prosedyrer i prosjektering av naturlige eller hybride ventilasjonsanlegg. Prosedyrer og løsninger i hybride anlegg sammenlignes deretter med mekanisk ventilasjon for å se om slike anlegg har noe å lære av hvordan hybride løsninger prosjekteres. Innledningsvis i dette kapitlet vil det gjøres en vurdering av luftkvalitet og hva som kan påvirke den.

Andre del (kapittel 3) ser på samspillet mellom bygning og ventilasjonsløsning drøftes. Utgangspunktet er et tradisjonelt mekanisk balansert ventilasjonsanlegg og hybrid ventilasjon. Disse skal sammenlignes med DCV. I sammenligningen vil det fokuseres på helheten, det vil si samspillet mellom systemløsning/ventilasjonsprinsipp og bygning.

Siste del av oppgaven danner data fra et kontorbygg grunnlaget for sammenligning av energiforbruket mellom ventilasjonsanlegg med konstant luftmengde og behovsstyrt luftmengde. Dataene fra bygget analyseres og behandles ved hjelp av Matlab (R2006a).
Ved hjelp av datagrunnlaget vil reguleringsfunksjonaliteten for deler av bygningen analyseres og dermed øke forståelsen av behovsstyringens innvirkning på bygningen. Til slutt gjennomføres simulering av energiforbruket til deler av anlegget som sammenlignes med et tilsvarende system med konstant luftmengde.

1.3. Hensikt og mål

Målet med oppgaven er å øke innsikten rundt hvordan behovsstyrte systemer påvirker bygningen, samt øke kunnskapen om tilstedeværelse i kontorbygg. Hvordan det behovsstyrte systemet klarer å tilpasse seg det faktiske bruksmønsteret er også interessant.

Som undermål for oppgaven kan personlig utvikling og økt forståelse av grensesnittet mellom regulering og bruksmønster nevnes.

1.4. Metode og avgrensninger

Oppgaven har fått en todelt struktur, den første delen er i hovedsak litteraturstudie mens den siste delen består i å behandle og tolke data fra et bygg og gjøre antagelser rundt energiforbruk og funksjonalitet i et behovsstyrt ventilasjonsanlegg.

I utgangspunktet skulle ikke oppgaven inneholde tilstedeværelsesdata fra et virkelig bygg. Når dette allikevel ble mulig førte det til en vridning av fokuset på oppgaven.

Dataene fra bygget ble vurdert til å være mer interessant enn et grundig litteraturstudie rundt de første punktene. Som følge av datagrunnlaget fra bygget ble derfor arbeidsmengden på de første punktene begrenset i forhold til det siste punktet. Det store datagrunnlaget begrenset automatisk omfanget av de to første punktene siden kunnskapene rundt bygget må være omfattende hvis vurderingene av tilstedeværelse og regulering skal bli korrekt. Siden oppgaveteksten er ganske vid anses dette som akseptabelt.

Bygningen som loggdata er hentet fra bruker et DCV-anlegg med mulighet for ekstra luft ved kjølebehov. Et slikt anlegg er derfor utgangspunktet for diskusjon angående behovsstyrt ventilasjon i oppgaven.

Det første punktet i oppgaven omhandler prosedyrer ved prosjektering av hybride installasjoner. Punktet bygger i stor grad på informasjon fra Dokka et. al (\2\) og deres veiledning for bygningsintegrert ventilasjon. Selv om veiledningen bygger på et stort informasjonsgrunnlag, begrenser dette diskusjonen noe. I utgangspunktet skulle den faktiske bygningen (Gassco) bli brukt i diskusjonen. For å få mer generaliserbare resultater ble dette imidlertid ansett som mindre viktig. Ved å bruke eksisterende tegningsgrunnlag ville denne delen blitt mye mer omfattende. Siden fokuset ble flyttet til siste del av oppgaven, ble eksisterende tegningsgrunnlag vurdert som for tidkrevende.

Punkt to skal se på sammenhengen mellom bygningskropp og ventilasjonsløsning. Her er det fokusert på bruksmønster, bygningsform og temperaturforhold. Ventilasjonsløsninger som blir satt mot hverandre er hybrid, mekanisk med konstant luftmengde og behovsstyrt mekanisk ventilasjon.

Det siste punktet består som nevnt av behandling og analyse av loggdata fra et kontorbygg. Det antas at tilstedeværelsesdataene som er samlet fra Gassco stemmer overens med faktiske registreringer på sensoren. Dette kan bare bekreftes ved å gjøre en visuell undersøkelse og sammenligne resultatene med loggingen. Dataene ble behandlet i Matlab (R2006a), som er et program med store programmeringsmuligheter. Ulike skript ble lagd for å redigere tilstedeværelsesdataene på ønsket format. Det ble tillagt mye tid i behandlingen av dataene siden feil her ville forplante seg videre i oppgaven. Flere forhold om tilstedeværelsen enn hva som presenteres her, kan undersøkes med datagrunnlaget fra bygget. I uke 8 var det vinterferie på Karmøy, men dette synes ikke å påvirke tilstedeværelsesraten. Denne uken ble derfor tatt med i beregningene uten videre hensyn.

I tillegg til tilstedeværelsesdata ble også reguleringsdata fra bygget analysert. Dette bidro til økt forståelse av systemet, men gikk ut over det oppgaveteksten beskriver. Analysen av reguleringsdataene øker imidlertid forståelsen av anlegget, noe som anses som viktig for oppgaven. Det ble fokusert på at reguleringsdataene skulle bekrefte funksjonaliteten til anlegget. Ytterligere analyse av reguleringsdataene fra cellekontor er mulig, men dette ble ikke sett på som nødvendig for denne oppgaven. Vedlegg F inneholder skript fra programmering i Matlab. Forståelse av dette er imidlertid ikke nødvendig for å skjønne oppgaven. Det ble allikevel lagt ved slik at spesielt interesserte kan få forståelse av hvordan redigeringen av loggen ble gjennomført.

For å få gjennomført loggingen på det aktuelle bygget måtte en tidsforsinkelse på 20 minutt brukes. Dette forklares mer i kapittel 4.1.4. Denne tidsforsinkelsen brukes i driften av anlegget, men vil gi høyere utslag i forhold til den virkelige tilstedeværelsen. På grunn av den høye tidsforsinkelsen vil dataene vise høyere tilstedeværelse enn hva som faktisk er tilfelle på bygget. Det er imidlertid 20 minutts tidsforsinkelse som brukes på regulering av de ulike sonene, så i forhold til energiforbruk vil ikke dette ha mye å si.

Gjennom befaring på bygget ble det oppdaget at noen av cellekontorene var grupperom. Tre grupperom ble identifisert med opptil fire personer på hvert rom. Disse grupperommene utgjør da tre av totalt 86 cellekontor. Det ble det ikke tatt høyde for grupperommene når loggingen startet og på grunn av anonym logging kunne ikke disse rommene trekkes ut av datamengden i ettertid. Det ble derfor antatt at tilstedeværelsen på disse rommene var lik gjennomsnittet på bygget.

For å se tilstedeværelsen i en større sammenheng var det ønskelig å gjøre energiberegninger. I utgangspunktet skulle Ecotect[1] brukes, men det viste seg at programmet ikke hadde tilstrekkelig med muligheter for å simulere behovsstyrt ventilasjon. ESP-R viste seg å være det eneste programmet som kunne gjøre nøyaktige beregninger i forhold til det virkelige anlegget på bygget. Grensesnittet på dette programmet er imidlertid svært vanskelig, og tiden til å lære programmet ble vurdert til å være for lang. Simuleringer ut ifra systemet på Gassco ble derfor gjort i Energi i Bygninger (EiB). Programmet har begrenset med innstillinger for tilstedeværelse, men med en del tilnærminger antok man at resultatene ble tilstrekkelig nøyaktige til dette formålet.

Simuleringen i Energi i Bygninger var preget av mange tilnærminger for å få fram resultater. I ettertid ble det klart at simulering av energiforbruk kunne med fordel vært en større del av oppgaven, slik at flere ulike programmer kunne vært undersøkt.

[1] http://www.squ1.com/ecotect

2. Prosedyrer ved prosjektering av hybrid ventilasjon

Hybride ventilasjonsanlegg kalles ofte bygningsintegrert ventilasjon. Med dette menes at ventilasjonsanlegget integreres i større grad i bygningens konstruksjon. Det gjøres blant annet ved at gangarealer og lignende blir brukt som føringsveier og man får dermed et større samspill mellom ventilasjon og bygning enn hva som er tilfelle med mekanisk balansert ventilasjon.

Med innføring av nye byggeforskrifter blir det i dag mer og mer viktig med gjennomtenkte tekniske løsninger slik at energiforbruket holdes lavt. Bygninger med hybrid ventilasjon synes å ha et lavt energiforbruk, og det er dermed interessant å se om noen av de prosedyrer som blir brukt også kan brukes i bygg med mekanisk balansert ventilasjon.

Dokka et. al (\2\) har laget en veileder for hybrid ventilasjon der det gjennomgås prosedyrer for hvordan hybrid ventilasjon kan prosjekteres. Denne vil være et godt utgangspunkt for å undersøke om prosedyrene kan brukes for mekanisk balansert ventilasjon.

Når man skal sammenligne hybride og mekanisk balanserte ventilasjonsløsninger er det viktig at utgangspunktet er det samme. Eventuelle besparelser som følge av dårligere luftkvalitet vil påvirke resultatet av sammenligningen. I den sammenheng er det viktig å være klar over hva som påvirker på luftkvaliteten.

2.1. Luftkvalitet

Poenget med ventilasjon er å opprettholde god luftkvalitet for brukerne. For å oppnå dette er det flere forhold enn ventilasjon (luftmengde) som spiller inn.

Arbeidstilsynets veiledning 444(\3\) skriver dette om luftkvalitet:

”Luftkvaliteten påvirkes av byggematerialer og inventar, mennesker, arbeidsaktiviteter og prosesser, renhold og vedlikehold, og ventilasjon. Faktorenes betydning vil variere både med hensyn til bygning og over tid i samme bygning.”

Dette viser litt av kompleksiteten som gjelder når man skal diskutere luftkvalitet. Mange forhold spiller inn, og ofte får ventilasjonen skylden for dårlig luftkvalitet. Har man høyt luftskifte i bygget vil man lettere kunne oppnå god luftkvalitet, men også et høyt energiforbruk. Hvis man i tillegg til høy luftmengde har stor forurensing fra materialer og dårlig renhold, vil man i beste fall ha middels luftkvalitet i tillegg til et høyt energiforbruk. Utfordringen ligger i å tilføre tilstrekkelig frisk luft med et system som ikke påvirker luftkvaliteten, og minimere bygningens påvirkning på den luften som tilføres. Et unødvendig høyt luftskifte vil føre til høyt energiforbruk. For lavt luftskifte vil blant annet kunne gi dårligere arbeidsforhold, og dermed påvirke produktiviteten til

brukerne. For å finne en tilfredsstillende luftmengde er det nødvendig å ha gode kunnskaper om hva som påvirker luftkvaliteten. Med slike kunnskaper vil man kunne optimalisere lufttilførselen slik at energiforbruk og inneklima er tilfredsstillende.

Det er viktig å skille mellom nødvendig luftmengde for å overleve og luftmengde for å bidra til god luftkvalitet. Luftmengde for å overleve vil være svært liten, cirka 0,3 l/s per person i følge Hanssen et. al(\6\). For å få god luftkvalitet vil det være nødvendig med mye større luftmengder, men hvor stor?

For klarere å forstå begrepet luftkvalitet er det nødvendig å se hvordan frisk uteluft blir tilført en bygning og hvordan den til slutt leveres til et rom. Det tas utgangspunkt i et mekanisk balansert ventilasjonsanlegg.

2.1.1. Ventilasjonsanlegget

Frisk luft blir sugd inn gjennom en inntaksrist i yttervegg ved hjelp av en vifte. For å beskytte komponenter og rense luften føres den videre gjennom et filter for så å komme inn i en varmeveksler. I varmeveksleren overføres varme fra luft trukket ut av bygningen, altså avtrekksluften. Det finnes ulike varmevekslere og noen kan også overføre fuktighet til den friske luften (\6\). Etter varmeveksleren vil luften passere viften for deretter å gå inn i fordelingssystemet. Dette fordelingssystemet består normalt av runde eller firkantede kanaler av galvanisert stål som tilfører luften der det trengs.

Hvis det er forurensing i ventilasjonsanlegget vil dette påvirke luftkvaliteten til luften som leveres i et rom. Dette kan være kilder som har oppstått i installasjonsprosessen eller som følge av dårlig planlagte løsninger. For å ha mulighet til å kontrollere luftkvaliteten er det derfor en forutsetning at leveringssystemet (ventilasjonsanlegget) ikke påvirker luftkvaliteten.

En av de mest kritiske faktorene når det gjelder forurensing i ventilasjonanlegg er fuktoppsamling og dermed faren for mikrobiell vekst. Dette kan oppstå i for eksempel luftinntaket(hanssen, som under) eller i filteret etter inntaket. For å hindre fuktoppsamling i luftinntaket er det viktig at den plasseres korrekt. Hanssen (\7\)gir gode retningslinjer for plasseringen av luftinntak i bygninger. Han påpeker også viktigheten av lett tilgang til komponentene i anlegget slik at vedlikehold og overvåkning kan utføres med letthet. God opplæring av overvåkende personell og preventivt vedlikehold oppgis som nøkkelfaktorer for å minimere risikoen for forurensing i ventilasjonsanlegget.

I en undersøkelse Hanssen (\8\) henviser til ble 24 av 30 ventilasjonsanlegg klassifisert som potensielle risikoanlegg med hensyn til mikrobiell vekst.

2.1.2. Ventilert sone

Luften kan tilføres rommet på ulike måter, men de to vanligste prinsippene som brukes er omrøringsventilasjon og fortrengningsventilasjon. Omrøringsventilasjon er vanligst i

behovsstyrte anlegg (\16\) der tilluftsventilen ofte sitter i taket og luften spres i rommet ved hjelp av små dyser.

Som man skjønner vil forurensing i ventilasjonsanlegget påvirke luftkvaliteten. Det er derfor en forutsetning for videre diskusjon om luftkvalitet at man ikke har forurensing i ventilasjonsanlegget.

Når luften tilføres rommet vil den holde en viss temperatur og fuktighet. Ved omrøringsventilasjon blandes den friske luften med romluften og en midlere temperatur og fuktighet vil oppnås. Temperatur og fuktinnhold i luften vil også påvirkes av lokale kilder, for eksempel personer og utstyr. Denne luften vil være den som påvirker brukernes opplevde luftkvalitet.

I den ventilerte sonen vil det være kilder som forurenser luften. Dette er jo årsaken til at det er nødvendig å skifte ut luften i rommet.

De viktigste kildene for innendørs forurensing er;

- Personer
- Overflatematerialer
- Inventar
- Prosesser

Arbeidstilsynets veiledning 444 (\3\) og REN teknisk veiledning til plan og bygningsloven (\10\) tar utgangspunkt i 7 l/s per person ved normale arbeidsforhold og et tillegg på grunn av materialbelastning og eventuelle prosesser. Grensen på 7 l/s vil normalt føre til at rundt 20 % av de besøkende er misfornøyde med luftkvaliteten. Som det ble påpekt av Alsaker (\1\) er nødvendig luftmengde på grunn av materialbelastning en vanskelig faktor å bestemme, og foreslåtte luftmengder synes ikke å ha grunnlag i vitenskapelige undersøkelser. Dette kan lett føre til over- eller underventilering, og dermed gi dårlig luftkvalitet samt et høyt energiforbruk (se figur 3-3, \1\). Vanlig tillegg for materialbelastninger er imidlertid 0,7 til 2 l/s per m².

Sammenhengen mellom prosent misfornøyde og luftmengde anses som godt vitenskapelig begrunnet. Seppänen et. al (\11\) gjennomgår eksisterende undersøkelser (1999) om luftmengder og CO_2-konsentrasjon for hovedsakelig kontorbygg. Gjennomgangen viste at nesten alle studiene konkluderte med at en reduksjon i luftmengden under 10 l/s per person (inkludert materialventilasjon) førte til en statistisk signifikant forverring luftkvaliteten sammen med en eller flere helseeffekter. Noen studier fant også at en økning av luftmengden opp til 20 l/s per person minket faren for SBS (Sick building Syndrome).

2.1.3. Luftkvalitet og hybrid ventilasjon

Kravene for luftkvalitet i hybride installasjoner er de samme som for mekanisk ventilasjon. Man har altså samme mulighet for å oppnå god luftkvalitet, såfremt renhold å

vedlikehold er tilfredsstillende. Hybride installasjoner uten filter vil imidlertid være mer avhengig av utendørs luftkvalitet.

2.2. Prosjektering av hybride ventilasjonanlegg

I og med at man har samme krav til luftkvalitet vil potensialet for spart energiforbruk til ventilasjon være det samme uavhengig av modell. Det er derfor interessant å se på hvordan man går fram i prosjekteringsfasen og hvor energibesparelsen ligger.

2.2.1. Integrert planlegging

Bygg med hybrid ventilasjon anbefales av Dokka et. al (\2\) å gjennomføre såkalt integrert planlegging. Gjennom integrert planlegging, altså et utstrakt samarbeid mellom arkitekter og tekniske rådgivere, søkes det å oppnå et godt inneklima og lavt energiforbruk. Det påpekes at integrerte ventilasjonsløsninger har mindre kapasitet til å fjerne forurensinger og varme enn konvensjonelle klimatiseringssystemer. Følsomhet for klimatiske variasjoner, store forurensingsbelastninger og varmelaster krever gjennomtenkt design av bygningskropp og installasjoner.

I denne fasen påpeker Dokka et. al (\2\) at personer med kompetanse på klimatisering(energi, innemiljø og ventilasjon) er med i konseptutformingen av bygningen sammen med arkitekten. Beslutninger som tas tidlig i prosessen (skisse-fasen) vil ha stor påvirkning på hvordan bygningsintegrert ventilasjon vil fungere (som for eksempel fasade, bygningsform og planløsning).

Veilederen foreslår å dele inn prosjektering av oppvarming, kjøling, belysning og ventilering av bygningen i tre ulike faser:

1. Bygningsdesign
2. Bioklimatisk design
3. Design av tekniske installasjoner

Med bygningsdesign menes utforming av bygningen. Målet med utformingen vil være å minimere nødvendigheten av varmetilskudd om vinteren og minimere kjølebehovet om sommeren. I denne fasen må best måte for å utnytte naturlige drivkrefter og naturlig lys identifiseres.

Den siste fasen innebærer å dimensjonere de tekniske anleggene på grunnlag resterende behov etter fase 1 og 2.
En alternativ måte er også beskrevet av Dokka et. al (\2\). Prosessen for integrert energidesign blir her delt opp i fem steg:

1. Redusere behovene

Dette gjøres ved å bruke ulike strategier for å redusere ventilasjonsluftmengder, kjølebehov, kunstig belysning og oppvarmingsbehovet

2. Bruk av naturlig / gratis energi

Ved å bruke naturlige drivkrefter i ventilasjonsanleggene, fortrengningsventilasjon, naturlig kjøling(f. eks. kulvert) og dagslysutnyttelse vil man kunne redusere behovet for tilført energi. Filosofien bak dette steget er å jobbe med naturen i stedet for å arbeide mot den.

3. Behovsstyring

Gjennom å behovstilpasse tilført energi til bygget etter behov gjennom bygnings-automasjon kan man spare mye energi.

4. Gjenvinning av energi

Ved å gjenvinne energi som brukes i bygget vil man redusere forbruket. Den mest vanlige formen for gjenvinning er varmegjenvinning av avtrekksluften. Andre former kan være gjenvinning av gråvann, intern varmeoverføring mellom soner i bygget og gjenvinning av transmisjons- og ventilasjonsvarme i buffersoner (glassgårder, dobbeltfasader og lignende).

5. Velg energikilde/ energiforsyning

Det siste steget går ut på å velge energikilde. Dette er et punkt som i dag er mer viktig enn når veilederen til Dokka et. al (\2\) ble skrevet på grunn av det nye EU-direktivet om energimerking av bygninger (\12\).

Ved gjennomgang av disse punktene på et tidlig stadium i prosjektfasen, påpekes det at timeforbruket her vil øke i forhold til hva som er vanlig i dag. Veiledningen mener at dette vil bli veid opp av redusert energiforbruk i driftsperioden.

2.2.2. Tiltak for å redusere behovene

Dokka et. al (\2\) beskriver ulike løsninger av hybrid ventilasjon brukt i bygninger i Norden. De omtales som henholdsvis Svensk, Dansk, Tysk, Norsk og Finsk modell, og graden av mekanisk ventilasjon i systemet øker i samme rekkefølge (se figur 2.2 i \2\). Selve løsningen på tilluft og avtrekk gjennom fasader og lignende vil ikke gåes nærmere inn på her. Hvordan man tilpasser løsningene for å redusere energiforbruk er derimot interessant i forbindelse med mekanisk balansert ventilasjon.

For å redusere oppvarmingsbehovet i bygget brukes godt kjente metoder som minimering av infiltrasjon, gjennomtenkt bygningsform, god isolering og avverging av kuldebroer. Plassering av vinduer og termisk masse bør også tenkes på i forhold til redusert oppvarmingsbehov.

Normalt vil man anta at utnytting av naturlige drivkrefter bidrar til å senke energiforbruket i bygg med hybrid ventilasjon. Dette synes imidlertid å være en misforståelse. De naturlige drivkreftene oppgis av Dokka et. al (\2\) til å være 20-100 ganger svakere enn det nødvendige viftedrivtrykket i et typisk mekanisk ventilasjonsanlegg. Det poengteres videre at naturlige drivkrefter er av underordnet betydning da mesteparten av vifteenergien kan spares med lavt trykkfall og energieffektive vifter. Dokka et. al (\2\) påstår at naturlige drivkrefter ikke vil redusere energiforbruket til bygget da det totale energibehovet er avhengig av flere forhold som utførelse og driftsforhold som ikke er betinget av ventilasjonsprinsipp. De påpeker også at lavere trykkfall over gjenvinner og dermed lavere vifteenergi fører til lavere virkningsgrad i gjenvinneren. Det totale energiforbruket kan dermed bli større siden tjent energi på grunn av redusert vifteforbruk ikke veier opp for lavere virkningsgrad i gjenvinneren(\2\).

For å redusere kjølebehovet spiller fasadeløsning en stor rolle, sammen med naturlig og mekanisk solavskjerming. Kjøling via grunnen eller utstråling til himmelen er også løsninger som vil redusere kjølebehovet.

Tilførsel av kunstig lys kan reduseres ved hjelp av planleggingen av bygget med hensyn på lysforhold. Her spiller glasstype og vindusareal en viktig rolle, men også farge på innvendige flater bør trekkes frem.

Alle modellene utenom finsk modell kan installeres ved bruk av såkalt årstilpasset ventilasjon. Dette går ut på å strupe luftmengden om vinteren slik at varmetapet fra avtrekksluften blir lavt. Luftskiftene i rommene blir følgelig lavere og man får ofte høye CO_2 -verdier i rommene. I modeller med svært liten viftebruk (for eksempel svensk og dansk) synes årstilpasset ventilasjon å være nødvendig for å få systemet til å fungere. Denne løsningen begrunnes av Dokka et. al (\2\) ut ifra ”dansk forskning” som *”viser at det er et visst vitenskapelig grunnlag for å si at man kan strupe luftmengdene om vinteren, hvis romtemperaturen holdes lav”*.

Et annet tiltak for å redusere luftmengdene og dermed energiforbruket i hybride anlegg, er å innføre fortrengingsventilasjon. Med fortrengningsventilasjon fjernes forurensinger ved hjelp av naturlig konveksjon og eventuelt tvungen konveksjon (kalles da ofte aktiv fortrengning). En slik løsning anslås å gi tilfredsstillende luftkvalitet med 30 % lavere lufttilførsel enn for tradisjonell omrøringsventilasjon (\2\, s 36). For å få fortrengningsventilasjon til å fungere bra er det viktig med stor takhøyde og det anbefales at himlinger fjernes for å øke denne.

Alle modellene som er beskrevet i veilederen bruker behovsstyring for å redusere energiforbruket. Sensorvalg vil være avhengig av systemets oppbygning, variasjonsområdet for luftmengder og mulighet til forvarming av tilluft. CO_2-og temperatursensorer er vanlig å bruke. Hvis man ikke kan varme opp tilluften vil årstidstilpasning ofte være nødvendig for å unngå trekk.

2.3. Hybride prosedyrer og mekanisk balansert ventilasjon

I figur 3.1 i Bygningsintegrert ventilasjon (\2\) vises ulike hensyn som må taes når et hybrid bygg skal prosjekteres. Siden man vil bruke minst mulig energi i bygget, må en nøye gjennomgang av behovet og reduksjoner gjøres, hvis man ser muligheter til det. Dette gjør at ventilasjonsanlegget kan skreddersys etter behovet. De hybride anleggene behovsstyres i den grad dette er mulig.

De aller fleste hensyn og tiltak som beskrives for hybride anlegg kan være aktuelle å bruke også ved installasjon av mekanisk balansert ventilasjon. Prosedyren for integrert planlegging vil fungere veldig bra som hjelp.

Dette gjelder spesielt hvis man ønsker å behovsstyre ventilasjonsanlegget. Prosedyren ved å først redusere behovet ved hjelp av designtilpasninger av bygget, så utnytte gratisenergi for deretter å behovsstyre resterende energitilførsel, vil være veldig viktig også for energiforbruk i mekanisk behovsstyrte anlegg.

Det er interessant å se på løsningene for det hybride ventilasjonsanlegget og måten det tilpasser seg bruksmønster og bygning for å se om noe også kan brukes som løsninger i mekanisk balansert ventilasjon (da fortrinnsvis behovsstyrte mekaniske anlegg).

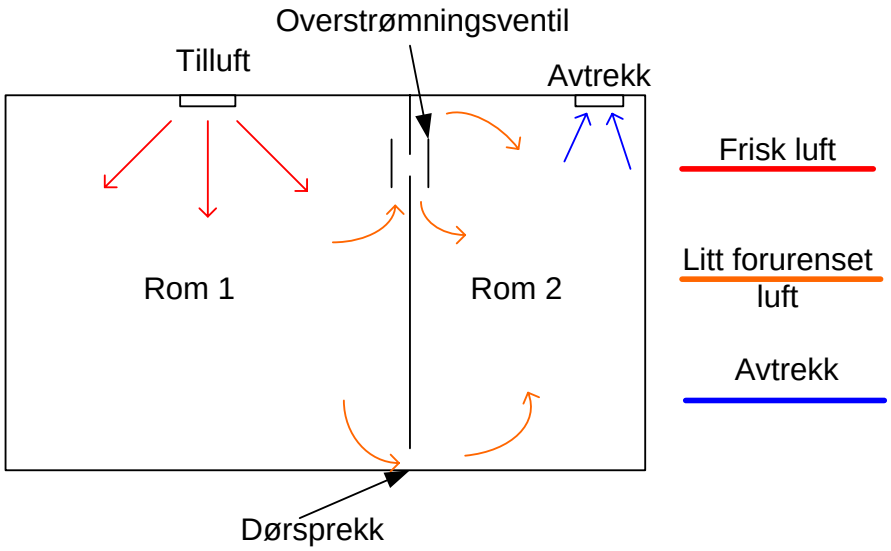
For å redusere luftmengden i hybride anlegg er det i hovedsak fire løsninger som brukes;

- Overstrømningsventilasjon
- Bruk av fortrengningsventilasjon (høy ventilasjonseffektivitet)
- Årstidstilpasning

Reduksjon av luftmengde betyr lavere energiforbruk. Lavt trykkfall i fordelingsnettet vil også redusere energiforbruket.

2.3.1. Overstrømningsventilasjon

Med overstrømningsventilasjon menes at luft tilføres i en sone med krav om høy luftkvalitet og fjernes i en nabosone med mindre krav til luftkvalitet. Et eksempel kan være avtrekk i toalett og tilluft i tilknyttet gang. Åpning under dør inn til toalettet eller ventiler sørger for at luft fra gangen blir trukket inn på toalettet og deretter ut gjennom avtrekksventilen. Ved å bruke en slik løsning kan man eliminere nødvendig tilluft til sonen med mindre behov for luftkvalitet. Prinsippet er vist i figur 2.1. Figuren viser både overstrømning i dørsprekk og med egen ventil. Normalt vil man bruke en av delene.



Figur 2-1, prinsippskisse for overstrømningsventilasjon. (ill: Sveinung Alsaker)

Overstrømningsventilasjon brukes i mekanisk balanserte anlegg og vil sannsynligvis fungere bedre i slike anlegg enn for hybride løsninger. Dette fordi trykkøkningen gjennom spalten eller overstrømningsventilen kan kortslutte det hybride systemet i perioder med små naturlige drivkrefter. Styring av viftene i hybride anlegg bør allikevel kunne takle dette slik at tilfredsstillende gjennomstrømning oppnås. Mekaniske anlegg er uavhengige av ytre forhold og tilfredsstillende funksjon bør dermed kunne oppnås enkelt.

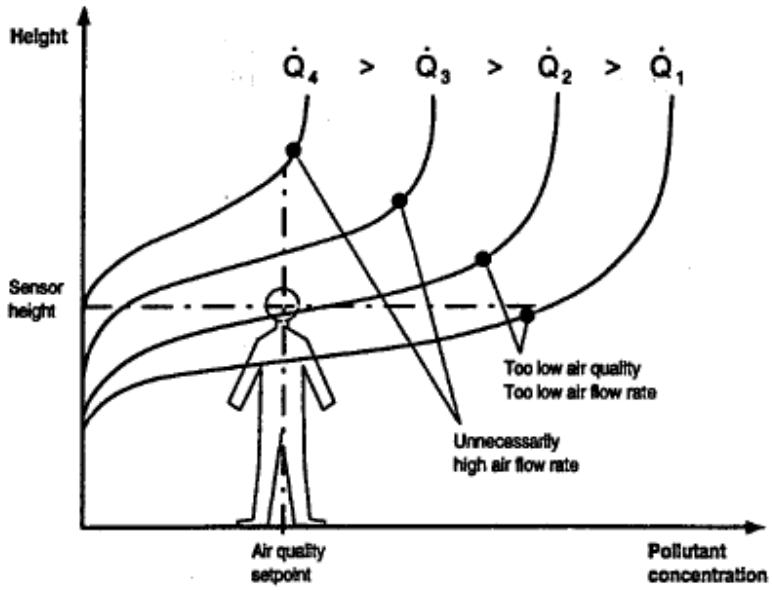
I kontorbygg kan man ha overstrømningsventilasjon fra et cellekontor over til gangen. Dermed vil ny luft tilføres kontoret, der man trenger det mest, mens gangen får litt mer forurenset luft. Siden man ikke oppholder seg mye i gangen kan man godta litt dårligere luftkvalitet der. Problemet med en slik løsning vil være støysmitte mellom rom. For å få til overstrømning er man nødt til å ha en ventil mellom cellekontor / gang. Hvis konfidensielle samtaler kan finne sted på kontoret vil man sjelden godta at samtalen bærer langt ut i gangen. Det finnes overstrømningsventiler med støydemping, men bedre støydempning i ventilen øker trykkfallet over den. Spesielt høyere frekvenser synes å være vanskelig å dempe.

Møterom synes også å gå dårlig sammen med overstrømningsventilasjon. Dette begrunnes i hovedsak fordi støysmitte fra gang vil være sjenerende for brukerne av møterommet.

2.3.2. Fortrengningsventilasjon

Ved å bruke fortrengningsventilasjon vil ventilasjonseffektiviteten øke og dermed kan man bruke en mindre luftmengde for å oppnå ønsket effekt sammenlignet med omrøringsventilasjon. I prNS3563 (\13\) oppgis ventilasjonseffektiviteten til fortrengningsventilasjon å være 1,2-1,4 (ved tilluftstemperatur under romtemperatur). Dette tilsvarer en reduksjon i luftmengden på mellom cirka 20 og 30 %. Sørensen (\14\) påpeker at høyden på grensesjiktet ved bruk av fortrengning og VAV, ikke vil være konstant. Dermed blir plassering av sensor, da spesielt høyden, veldig viktig.

Innstillingen av sensor og spjeldstilling vil også være veldig viktig som illustrert på figuren under. Ved for høyt settpunkt vil man bruke for mye luft og grensesjiktet blir høyt (Q4, Q3). Hvis settpunktet for reguleringen av luftmengden er for lavt, vil man risikere dårlig luftkvalitet (Q2, Q1).



Figur 2-2, variert luftmengde og fortrengningsventilasjon (\14\).

Holmberg et. al (\3\) påpeker også et annet problem med fortrengningsventilasjon. De undersøkte hvordan ulike ventilasjonsprinsipper påvirker partikkeltettheten i pustesonen. Forsøket viste at fortrengningsventilasjon og høy persontetthet kan føre til økt konsentrasjon av partikler under 10 µm.

Som nevnt av Alsaker (\1\) er takhøyden en viktig faktor for at fortrengning skal fungere.

Ved prosjektering av bygg er takhøyde et kritisk tverrfaglig tema der volumutnyttelse og plass til tekniske installasjoner er viktige faktorer. For å øke takhøyden i yrkesbygg foreslår Dokka et. al (\2\) å fjerne nedsenket himling. Følgende fordeler med dette blir nevnt;

- Større takhøyde som gjør at rommet føles større og mer luftig
- Stor takhøyde gir bedre luftkvalitet i oppholdssonen ved fortrengningsventilasjon
- Større takhøyde og fortregningsventilasjon gir lavere temperatur i oppholdssonen og laver kjølebehov
- Eksponert betong i himlingen gir rommet større varmekapasitet og dermed redusert kjølebehov. Dette er også meget gunstig hvis man satser på nattkjøling
- Større takhøyde gir mulighet for større vinduer som gir bedre dagslysforhold i rommet, samt bedre mulighet for lyshyller for å få dagslys langt inn i rommet
- Åpen himling gir mulighet til å bruke himlingen som diffus reflektor for dagslys og kunstig belysning (indirekte diffus belysning)

- Mindre ventilasjonsbehov, kjølebehov og behov for kunstig belysning gir lavere energibruk, og vil også kunne føre til lavere energikostnader
- Eliminerer risikoen for at himlingen er en støvsamler

Det blir også påpekt noen mulige ulemper ved fjerning av himling;
- Økte kostnader for overflatebehandling av betonghimling
- Mer kostbare vindusløsninger (høye vinduer)
- Lengre etterklangstid på grunn av hardere overflater i himling
- Eventuelle synlige tekniske installasjoner i himlingen
- Risiko for høyere oppvarmingsbehov på grunn av stratifisering (høyere temperatur oppunder himling)

Veilederen sier at ved å fjerne himlingen eliminerer man risikoen for at himlingen er en støvsamler. Uten himling vil tekniske installasjoner synliggjøres og komme i direkte kontakt med miljøet i rommet. Slike installasjoner kan være sprinkleranlegg, ventilasjonskanaler og tilluftsventiler, kabelgater etc. Disse installasjonene vil også være støvsamlere, og de er oftest plassert opp under taket der tilstrekkelig renhold blir vanskelig å gjennomføre. For hybride anlegg tilstreber man å ikke ha slike installasjoner i taket. Hvis man fjerner himling i rom med mekanisk ventilasjon bør altså tekniske installasjoner over denne også fjernes.

Ved bruk av himling vil tilluft- og avtrekksventiler være montert i selve himlingen. Dette gjør at man får to ulike soner over og under himlingen. Så lenge materialet som himlingen er lagd av ikke påvirker luftkvaliteten og er tett, burde støvsamling over himling ha liten betydning for luftkvaliteten.

Cellekontor

Fortrengningsventilasjon i cellekontor synes å være vanskelig å få til. Man har få signifikante varmekilder og dermed er naturlig konveksjonskilder i rommet begrenset.

Ved redusert luftmengde og fortrengning vil hastigheten ut av tilluftsdonet bli svært lav på grunn av den store overflaten på donet. Med manglende konveksjonskilder og dermed lavere lufthastighet ut av don (tilstedeværelsessenor reduserer luftmengden), vil man få mindre grad av denne fortrengningseffekten. Ved vinduet i kontoret vil luften bli kjølt ned og falle mot gulvet. Denne effekten vil gjøre at luft høyt i rommet blir dratt ned i ”ren sone” og dermed motvirke fortrengningsventilasjonen. Resultatet kan bli dårligere ventilasjonseffektivitet. Inventar vil også spille en rolle for strømningsbildet da bord og lignende kan hindre fortrengningsfunksjonen. En av fordelene med fortrengning er at den kan ta bort relativt store varme forurensingskilder (\16\). Cellekontor har imidlertid få store varmekilder.

Møterom

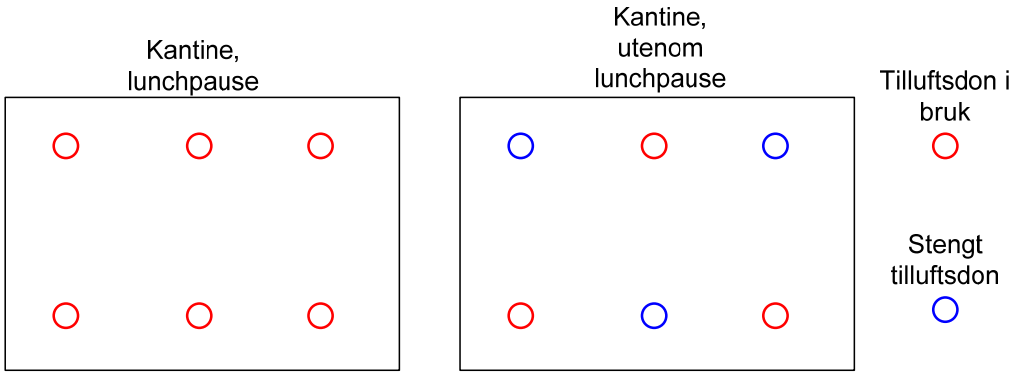
Fortrengning i møterom burde kunne fungere bedre enn i cellekontor. Her vil man ha flere konveksjonskilder og dermed vil sjiktingen lettere fungere. Hvis møterommet er lite og har samtidig plass til mange rundt et stort bord vil man kunne ødelegge for ventilasjonsprinsippet. Kald luft vil da kunne sive inn under bordet og ha begrenset

mulighet til å stige. Dette kan føre til ubehagelig kulde ved bena for brukerne rundt bordet.

Rommets inventar vil altså spille en stor rolle ved bruk av fortrengningsventilasjon med tilførsel ved gulvet i møterom. Når man ikke har brukere tilstede i rommet vil ventilasjonen reduseres og effektiviteten med fortrengning kan bli skadelidende.

Kantine

I kantiner vil fortrengingsventilasjon kunne brukes for å redusere nødvendig luftmengde i mekanisk balanserte anlegg. Et slikt rom vil være vanskelig å behovsstyre og vil samtidig ha veldig høy belastning i mindre perioder av arbeidsdagen (\1\, prosjekt 5.3.4). Man er da avhengig av en viss takhøyde slik at sjiktningen kan oppnås. Siden behovet for luft i lunchpausen er stort, men utover dette ganske lavt, vil man ha stor forskjell på maksimal og minimal luftmengde. Hastigheten ut av tilluftsdonet ved maksimal belastning skal være veldig lav (<0,15 m/s), hvis luftmengden reduseres kraftig vil hastigheten bli svært lav. Dette kan føre til dårlig ventilasjonseffektivitet for sonen. For å unngå dette problemet kan man stenge noen av tilluftspunktene utenfor den typiske driftstiden som vist i Figur 2-3. Før implementering av denne løsningen bør det gjøres en CFD analyse for å undersøke effekten av høyere hastighet fra få tilluftspunkter mot mange tilluftspunkter og lav hastighet.



Figur 2-3, forlag til reguleringsstrategi for fortregningsventilasjon i kantine. (illustrasjon: Sveinung Alsaker)

2.3.3. Årstilpasset luftmengde

Ved å bruke årstilpasset ventilasjon i hybride anlegg senkes luftmengden og dermed også energiforbruket. Dette gjøres ofte ved at en temperatursensor inne kontrollerer uteluftstilførselen. Siden luften om vinteren er under innendørs komforttemperatur, trengs lite luft. Dette gjør at varmetapet ut med avtrekksluften blir veldig lavt og dermed spares energi til oppvarming.

	Fordeler	Ulemper
Årstilpasset ventilasjon	• Lavt energiforbruk • Unngår svært lav luftfuktighet om vinteren	• Forurensingsnivået kan bli høyt i perioder • Fare for trekk ved bruk av fortrengnings-ventilasjon uten forvarming av tilluft

Tabell 2-1, årstilpasset ventilasjon, fordeler og ulemper

Luftkvaliteten ved struping av luftmengden vil naturligvis bli dårligere. Det påstås allikevel at tilfredsstillende luftkvalitet oppnås siden temperaturen holdes lav. Ved å strupe luftmengden oppnår man også en høyere luftfuktighet inne. Dette er også positivt for inneklimaet.

Ved å strupe luftmengden om vinteren i et mekanisk ventilasjonsanlegg vil man kunne oppnå samme energibesparelse som når man struper et naturlig eller hybrid anlegg. Dette er imidlertid en praksis som ikke brukes.

I mekaniske anlegg vil man bruke varmegjenvinner mellom avtrekksluft og tilluft. Dette vil sikre at varmetapet gjennom avtrekkluften blir lavt. For å ytterligere minke dette varmetapet kan man bruke varmepumpe til å ta ut resterende varme fra avtrekksluften. Denne varmen kan da tilføres varmeanlegget i bygget.

Henvisningen til ”Dansk forskning” som er gjort av Dokka et. al (\2\) er bygget på Fang et. al (\17\, \18\) sine studier om temperatur og luftfuktighets betydning for opplevd luftkvalitet. Naturlige og hybride anlegg bruker konklusjonene gitt av Fang et. al om temperatur og luftfuktighets innvirkning på inneklimaet, som påskudd for å redusere luftmengdene. Studiene påstår at hvis temperaturen og luftfuktigheten i forurenset romluft endres fra cirka 23 ºC og 50 % RH til 18 ºC og 30 % RH vil PD bli forbedret med 10 %. Gjeldende krav til luftmengder sier at man skal tilføre luft slik at cirka 20 % av de besøkende kan forventes å være misfornøyde (\20\). Dette tilsvarer en luftmengde på 7 l/s per person. Siden man forbedrer PD med å ha kontroll på temperatur og luftfuktighet, påstås det at luftmengden kan reduseres tilsvarende en tilbakeføring av prosent misfornøyde fra 10 % til 20 %.

En ulempe med årstilpasset ventilasjon vil være faren for oppbygning av forurensinger innendørs som følge av for lite luftutskiftning over tid. Dette kan gi uønskede helseeffekter og øke faren for SBS (Sick Building Syndrome). Man vil også ha stor risiko

for trekk hvis man kombinerer fortrengningsventilasjon og årstidstilpasning for hybride løsninger uten mulighet til forvarming.

Den største forskjellen mellom hybrid ventilasjon med årstidstilpasning og mekanisk balansert ventilasjon med temperatursensor vil være kontroll over nedre settpunkt for luftmengden. For hybride løsninger med liten grad av temperaturkontroll på tilluften vil man måtte strupe luftmengden kraftig slik at trekk unngås. Dette vil spesielt gjelde for løsninger med fortrengningsventilasjon, da slike løsninger krever små temperaturgradienter. Ved mekanisk balansert ventilasjon med temperaturstyring vil man ha varmeveksling med avtrekksluften. Dermed kan tilluftstemperaturen styres etter ventilasjonsprinsipp. Ved bruk av omrøringsventilasjon kan man om vinteren redusere tilluftstemperaturen slik at temperaturkravet i rommet lettere kan opprettholdes. Ved fortrengningsventilasjon er det strengere krav til temperaturgradienten (pga. trekk) og man vil dermed i mindre grad ha mulighet til å bruke tilluften som kjøling.

2.3.4. Trykkfall

Ved å bruke store kanaler eller føringsveier oppnår man lave hastigheter i fordelingsnettet. Lave hastigheter gir lave trykkfall i systemet og dette fører til at vifteeffekten kan reduseres siden denne er proporsjonalt avhengig av trykkfallet i anlegget (\4\). Det er ingenting som tilsier at man ikke kan bruke store føringsveier også med mekanisk balansert ventilasjon. Den finske modellen beskrevet av Dokka et. al (\2\) er i hovedsak et mekanisk ventilasjonsanlegg med svært lavt trykkfall. Utfordringen med å oppnå lave trykkfall er å få tilgang til stort nok volum i bygget slik at store kanalføringer blir mulig.

2.4. Diskusjon

Hybride anlegg kjennetegnes ofte ved lav energibruk, utnyttelse av naturlige drivkrefter, lave trykktap og integrert design.

Utnyttelsen av naturlige drivkrefter blir bagatellisert av Dokka et. al (\2\), i forhold til redusert energiforbruk. For å utnytte de naturlige drivkreftene må man ha svært lave trykkfall i systemet. Den anslår at 1 % av besparelsen komme som følge av naturlige drivkrefter, mens de resterende 99 % kommer av redusert vifteenergi. Det poengteres allikevel at man bør ta hensyn til vind ved utforming og plassering av luftinntak og avkast. Dette vil også være naturlig å gjøre ved prosjektering av mekanisk balanserte ventilasjonsanlegg.

I planleggingsfasen av et hybrid ventilasjonsanlegg påpekes viktigheten av planlegging og integrert design. Siden anlegget i stor grad integreres i bygningskroppen vil planlegging allerede på skisseprosjekt-nivå være av stor betydning for funksjonaliteten til anlegget. Selv om graden av integrering vil være mindre for et mekanisk anlegg, vil bedre planlegging i en tidlig fase øke forståelsen av valgte løsninger og deres innvirkning på byggets energiforbruk. Denne sammenhengen vil være viktig for alle involverte slik at man har en felles forståelse av byggets funksjon og forventede driftsutgifter.

Ved større planlegging i de tidlige fasene i et prosjekt vil også kostnadene her øke. Dokka et. al (\2\) mener at disse kostnadene vil bli inntjent senere i prosjektet som følge av reduksjon i kapasitetsbehov til oppvarming, kjøling og ventilasjon. Veilederen nevner også andre barrierer som kan hindre gjennomføringen av integrert prosjektering;

1. Krav om kort prosjekteringsperiode fra byggherren
2. Lite tverrfaglig samarbeid/hegning om egne fagområder
3. Liten interesse og tverrfaglig kompetanse blant rådgivere og arkitekter
4. Rådgivere som dimensjonerer installasjoner uavhengig av bygningsmessige/ passive tiltak

Barrierene nevnt av Dokka et. al(\2\), går også igjen når mekaniske ventilasjonsanlegg planlegges og prosjekteres. Selv om man har mindre grad av integrering i mekaniske anlegg vil bedre samarbeid og forståelse av prosjekteringens resultat, være viktig også for slike anlegg. Dette vil også bidra til å oppnå en gjensidig forståelse av hvilke mål man har med de tekniske installasjonene.

Det ble identifisert fire ulike tiltak foruten behovsstyring, for å redusere energi brukt til ventilasjon i hybride anlegg. Hvert av disse tiltakene har som hensikt å redusere luftmengden. Tiltakene er overstrømningsventilasjon, fortrengningsventilasjon, årstilpasset ventilasjon og lavt trykkfall.

Overstrømningsventilasjon er vanlig å bruke også i mekanisk balansert ventilasjon. Tilluft i gang nær toaletter med avtrekk vil i prinsippet være overstrømningsventilasjon. Luften tilføres der man har mest bruk for den og blir trukket inn på toalettet der man

allerede har en del forurensinger og ikke trenger ”ny” luft. Det er også selvsagt en fordel å holde undertrykk på toaletter siden man har høyere grad av forurensing her enn i resten av bygget. I hovedsak brukes overstrømningsventilasjon når man har to soner og man kan godta ”andre rangs” luft i den ene. På den måten vil man redusere nødvendig tilførsel av frisk luft og dermed spare energi. Det vil ikke være noen forskjell mellom mulighetene for omrøringsventilasjon i hybride og mekanisk balanserte løsninger. Spart energi som følge av omrøringsventilasjon vil dermed ha samme potensialet for begge løsningene så lenge man har like krav til luftkvalitet. Støysmitte mellom soner begrenser imidlertid denne løsningen, spesielt når det gjelder kontorbygg med mange cellekontor.

Siden fortrengningsventilasjon har høyere ventilasjonseffektivitet vil man kunne bruke mindre luft og få samme effekt som omrøringsventilasjon. Sørensen (\14\) påpeker imidlertid at varierende luftmengder og fortrengningsventilasjon kan være vanskelig. Reduksjon av luftmengden i tilluftsdonet vil sannsynligvis føre til at ventilasjons-effektiviteten blir lav. CFD-simuleringer er imidlertid nødvendig for å verifisere disse påstandene.

Hybrid løsning med årstilpasset ventilasjon betyr at man reduserer luftmengden på vinteren for å redusere varmetapet. Dette gjøres ved å styre tilluften med temperatursensor slik at temperaturkravet opprettholdes. Med redusert tilførsel av tørr vinterluft økes luftfuktigheten inne, noe som skal ha positiv innvirkning på inneklimaet (\2\). For å illustrere hvor mye luftfuktigheten stiger med strupning av luftmengden kan man ta utgangspunkt i et rom med gulvareal på 20 m². Hvis man har ti personer der inne produserer de cirka 14 mg vanndamp per sekund. Normal nødvendig luftmengde for rommet vil være 7 l/s per person og 1 l/s per m² som gir totalt 90 l/s. Egenvekten på luft er cirka 1,2 kg/ m^3 og dermed blir tilførselen av luft til rommet 0,108 kg luft per sekund. Absolutt fuktighet for luften blir da 14mg per sekund ganget ti personer dividert på lufttilførsel (kg/s), altså 0,00123 kg vanndamp per kg luft. Ut ifra et hx-diagram kan man se at dette tilsvarer en relativ luftfuktighet på 8 % ved 21 ºC. Hvis man halverer luftmengden til 3,5 l/s per person, endres relativ luftfuktighet til cirka 13 %. For å få luftfuktigheten over 20 %, som er den nedre anbefalte grensen (\6\), må man under 2 l/s per person. Med så lave luftmengder kan man begynne å lure om ikke andre forhold nå har større innvirkning på luftkvaliteten enn om luftfuktigheten har en godkjent verdi.

Hanssen et. al (\6\) beskriver luftfuktighetens betydning for inneklima ganske godt; ”*..luftfuktigheten har sin betydning for innemiljøet mer ved sitt samspill med andre faktorer enn som selvstendig parameter*”.

Det blir med andre ord litt voldsomt å si at man får godt inneklima så lenge luftfuktigheten er høy nok. Det synes som designere av hybride installasjoner trekker forsøksresultater presentert av Fang et. al (\17\, \18\) noe langt. Forsøkene har like stor betydning for både mekaniske og hybride løsninger, men resultatene burde heller blitt brukt til å bedre luftkvaliteten i stedet for å holde den på samme nivå. Anlegg som utnytter denne type reduksjon av luftmengden om vinteren er stort sett anlegg med stor utnyttelse av naturlige drivkrefter.

Strupning om vinteren er veldig fordelaktig for hybride ventilasjonsanlegg uten varmegjenvinning. Mekanisk balanserte ventilasjonsanlegg har som regel mulighet til å bruke god varmegjenvinner. Varmetap som følge av avtrekksluft kan dermed minimeres. Å bruke årstilpasset ventilasjon i mekaniske anlegg synes derfor å være unødvendig, med tanke på risiko for dårligere luftkvalitet i forhold til utbyttet med høyere luftfuktighet.

Lavt trykkfall i fordelingssystemet vil være en stor bidragsyter til å redusere energibehovet til ventilasjonsanlegget. Store føringsveier er også fordelaktige i forbindelse med rengjøring. Større føringsveier går imidlertid ut over byggets arealutnyttelse. Ved prosjektering av mekanisk balanserte anlegg er dette ofte en av hovedutfordringene, spesielt i bygg med flere etasjer. Byggherre vil ha lav takhøyde for å senke byggekostnadene, og prosjekterende vvs-ingeniør får dermed lite plass til kanaler i himling. Man kan selvfølgelig ha vertikale kanaler med tilluftspunkter på veggen, men dette reduserer gulvarealet noe som heller ikke er populært blant byggherrer. Det er ingenting i veien for å ha lavt drivtrykk i mekaniske anlegg, men praktiske årsaker begrenser slike muligheter sterkt. Lavere trykkfall vil også gå ut over virkningsgraden til varmegjenvinneren. En sammenligning mellom livsløpskostnader til bygningen med økt areal på kanaler og dermed lavere trykkfall mot tradisjonell løsning med høyere trykkfall kan belyse dette temaet bedre.

Når man prosjekterer et bygg og forsøker å redusere behovet, er det viktig at målet om et godt inneklima opprettholdes. Poenget med reduksjonen er å få bort unødig bruk av energi og samtidig ha et godt inneklima. Hvis man senker u-verdien i vinduer vil man få mindre temperaturvariasjoner i bygget og energiforbruket vil bli lavere. Mindre temperaturvariasjoner vil gjøre det enklere å behovsstyre luftmengden og man vil få bedre kontroll over inneklimaet. Andre tiltak med samme effekt vil være fjerning av kuldebroer, etc. Bedre temperaturkontroll kan også ifølge Wargocki et. al (\21\) øke produktiviteten i kontorbygget.

Hybrid ventilasjons fokus på temperatur og luftfuktighet bør imidlertid også legges merke til av prosjekterende av mekaniske ventilasjonsanlegg. Det er for enkelt å si at syv liter per sekund per person ordner alle utfordringer med ventilasjon. Man må også tenke på hvordan temperatur og luftfuktighet blir i bygget for at et godt inneklima skal kunne oppnås. Men i stedet for å bruke slike krav til å redusere luftmengden burde man kanskje bruke dem til å oppnå bedre luftkvalitet. Man kan ifølge Mathisen et. al (\19\) installere hybrid ventilasjon som oppfyller alle krav til inneklima og energibruk. Driftskostnadene med hybrid ventilasjon er ifølge Mathisen et. al (\19\), høyere enn for tilsvarende mekanisk balanserte anlegg siden det benyttes varmevekslere med dårligere virkningsgrad (eller ingen varmegjenvinning).

De fleste bygg som har installert hybride anlegg i Norge er skolebygninger. En annen fellesbetegnelse er at de er signalbygg eller spesielle prosjekter som har fått statlig støtte for å kunne gjennomføre nye løsninger som ikke nødvendigvis viser seg å være driftsøkonomiske eller investeringsmessig gunstige. Undersøkelser gjort av Mathisen et. al (\19\) på skolebygg med hybrid ventilasjons viser at energiforbruket varierer like mye som for skoler med mekanisk ventilasjon.

De mest kritiske til mekanisk ventilasjon påstår at god luftkvalitet ikke er mulig å oppnå og at mekanisk ventilasjon gjør mer skade enn nytte. Dette er noe som prosjekterende av slike anlegg må ta på alvor. Det er allikevel denne forfatterens oppfatning at korrekt prosjekterte og installerte mekaniske ventilasjonsanlegg bør kunne tilfredsstille de krav som stilles til sikring av luftkvalitet gjennom anlegget.

2.5. Oppsummering

I denne delen er prosedyrer for prosjektering av hybrid ventilasjon undersøkt. Prosedyrene er sett i lys av mekanisk balansert ventilasjon for å se om lærdom kan trekkes mellom prosjekteringsprinsipper av de forskjellige ventilasjonssystemene.

Integrert planlegging er ifølge Dokka et. al (\2\) en sentral del i prosjekteringen av et vellykket hybrid anlegg. Gjennom denne planleggingen reduseres behovet, gratis energi utnyttes og deretter behovsstyres resterende nødvendig energitilførsel. Gjennom en slik planlegging vil man få god forståelse av bygningen. Resultatet av en slik prosjektering vil gi økt forståelse blant de involverte i prosjektet, både med tanke på bygningens oppbygning og det ferdige produkt. Dette vil være en stor fordel for at alle aktører skal bli fornøyd med prosjektet.

Integrert planlegging vil også være aktuelt for behovsstyrte ventilasjonanlegg. Det er gunstig i en tidlig fase å redusere energitapet ut av bygget, for eksempel med bedre vinduer og fjerning av kuldebroer. Fornuftig bruk av vinduer vil også bidra til å øke energitilskuddet og dermed skape bedre harmoni mellom bygningen og uteklimaet. En bedre tilpasset bygning vil takle variasjoner i uteklimaet bedre og dermed vil behovsstyring av ventilasjonen bli enklere.

Hybride installasjoner bruker også mer drastiske tiltak for å redusere luftmengden gjennom bygget. Årstilpasning av luftmengden synes å være den mest ekstreme og brukes mest i anlegg med stor grad av naturlig ventilasjon (liten viftebruk). Dette kan også gjøres med mekanisk balansert ventilasjon, men resultatet for luftkvaliteten vil sannsynligvis bli veldig dårlig. Det argumenteres med at lufttemperatur og luftfuktighet er viktig, og strupning om vinteren vil bidra til å holde luftfuktigheten oppe og lufttemperaturen nede. Hvis personer skal bidra tilstrekkelig til at luftfuktigheten stiger signifikant inne i et rom må luftmengden strupes veldig. Dette vil føre til oppsamling av andre forurensinger som kan påvirke opplevd luftkvalitet vel så mye som høyere luftfuktighet. Årstilpasset ventilasjon synes derfor å være en dårlig løsning å bruke i mekanisk balanserte ventilasjonsanlegg.

Andre tiltak for å redusere luftmengden i hybride anlegg er bruk av fortrengnings-ventilasjon og overstrømningsventilasjon samt lave trykkfall i fordelingsnettet. Fortrengningsventilasjon kan være aktuelt å bruke i møterom, eller andre rom der man har signifikante varmekilder. Plassering av sensor og plassering av inventar vil være viktig for at dette skal fungere. Man kan få problemer med å opprettholde ventilasjonseffektiviteten ved lave belastninger og et slikt ventilasjonsprinsipp.

I hovedsak er god planlegging fra starten av et prosjekt det viktigste prosjektering av mekanisk balansert ventilasjon kan lære av tilsvarende hybrid prosjektering.

3. Samspill mellom ventilasjonsløsning og bygning

For at funksjonaliteten til bygningen skal bli tilfredsstillende og energiforbruket lavt, er det nødvendig med et godt samspill mellom ventilasjonsløsning og bygning.

Ulike ventilasjonsløsninger stiller ulike krav til bygningen. Dette gjelder spesielt for bygg med hybrid ventilasjon. Dokka e. al (\2\) har gitt en vurdering av de ulike presenterte konseptene for hybrid ventilasjon og sammenlignet med mekanisk ventilasjon (\2\, tabell 4.1). Områder med kaldt klima være uaktuelt for anlegg med høy utnyttelse av naturlige drivkrefter (Svensk / dansk modell). Norsk og Finsk modell opplyses å passe i for alle lokale klimaforhold som vi har i Norge, på samme måte som mekanisk ventilasjon.

Høye krav til inneklima vil også være et hinder for innføring av hybride løsninger med høy grad av naturlig ventilasjon. Mindre kontroll over lufttilførsel og spesielt temperaturen på denne, vil føre til struping i kalde perioder for å hindre trekk (årstilpasset ventilasjon). Viftestøy vil på grunn av lave hastigheter, bli minimert i hybride anlegg. I bygg med hybrid ventilasjon vil derfor støy fra ventilasjonsanlegget være et mindre problem. Støysmitte mellom soner kan derimot bli utfordrende. Siden man har et lite drivtrykk å arbeide med, vil for eksempel ventiler for overstrømningsventilasjon og felles tilluftspunkter for flere soner, gjøre at man har støysmitte mellom soner. Støylekkasje mellom rom kan derfor bli et problem i bygg med hybride anlegg. Støylekkasje mellom rom kan enkelt minimeres med mekaniske anlegg, men som følge av høye hastigheter i føringsveiene er også faren for støy, høyere enn for hybride installasjoner. Dette kan løses ved bruk av lydfeller i fordelingssystemet, men for at støynivået skal bli lavt er det nødvendig at fordelingsnettet blir installert korrekt. Overganger til mindre kanalgrener fra hovedstrekk vil være kritiske punkter for støygenerering da det ofte brukes påstikk som monteres på kanalen. Det er viktig at overgangen blir så jevn som mulig, og at det fuges tilstrekkelig med egnet fugemasse.

3.1. Bruksmønster

Ulikt bruksmønster vil påvirke hvordan bygningens dynamikk fungerer. Bruksmønster vil være det samme som grad av tilstedeværelse gjennom en typisk dag for bygningen, men vil også innebære flyten av personer i selve bygget. Under er det satt opp ulike senarier for bruksmønster som vurderes i sammenheng med tre ulike systemtyper. Det legges vekt på energiforbruk og luftkvalitet. Det antas at luften man tilfører, ikke forurenses av selve ventilasjonsanlegget, men bare lokalt i rommet. De ulike bruksmønstrene antas å være i et standard kontorbygg med stor grad av cellekontor, noen møterom samt et mindre åpent kontorlandskap. Lavt bruksmønster defineres som under 40 % gjennomsnittlig tilstedeværelse i kjernetiden mellom 09:00 og 15:00. Høyt bruksmønster defineres som over 90 % gjennomsnittlig tilstedeværelse i kjernetiden.

3.1.1. Jevnt lavt bruksmønster

Jevnt lavt bruksmønster forståes med lav tilstedeværelse og liten variasjon av brukerkonsentrasjoner rundt om i bygget samt liten grad av fleksibel bruk av bygget. Ved et slikt bruksmønster vil ventilasjonsanlegget sannsynligvis være overdimensjonert. For at fleksibiliteten til bygget skal opprettholdes bør man allikevel ikke redusere størrelsen på anlegget (\1\). Bygg med lavt bruksmønster kan for eksempel være kontorbygg med mye salgspersonell som er ute hos kundene.

For hybride anlegg med lav tilstedeværelsesfaktor vil luftkvaliteten være god over større perioder enn man i utgangspunktet kunne regne med. Dette vil spesielt gjelde for anlegg med redusert lufttilførsel om vinteren. Man vil være avhengig av god kontroll over tilførsel av luft for at energiforbruket skal holdes lavt. Liten variasjon i belastningen rundt i bygget vil gjøre systemet enkelt å regulere.

Et bygg med konstant mekanisk tilførsel av luft (CAV) og jevnt lav tilstedeværelse vil være overdimensjonert. Anlegget vil bruke mye energi og har liten mulighet til å redusere behovet som følge av den lave tilstedeværelsen. Luftkvaliteten vil imidlertid være god hvis overflødig luft tilføres for eksempel kontorlandskap med lav tilstedeværelse.

En bygning med behovsstyrt mekanisk ventilasjon og jevnt lav tilstedeværelse vil redusere luftmengden etter dette bruksmønsteret. Siden bruksmønsteret har liten variasjon vil anlegget enkelt kunne tilpasse seg bruksmønsteret. Med liten variasjon vil man ikke kunne utnytte DCV-anlegget fullt ut og anlegget kan være komplisert i forhold til oppgaven. Luftkvaliteten vil kunne kontrolleres bra da man ofte har temperatursensor i tillegg til tilstedeværelses- eller CO_2- sensor. Fleksibiliteten til anlegget er imidlertid stor og det vil takle endringer i bruksmønsteret.

3.1.2. Jevnt høyt bruksmønster

Ved jevnt høyt bruksmønster har man høy tilstedeværelse og liten variasjon i brukstidene. Tilstedeværelsen er her nesten på dimensjoneringsnivå. Man har også liten variasjon på ulike dager, og arbeidstiden er rimelig konstant. Denne type bruksmønster kan man finne i kommunale bygninger der man har mye stasjonert arbeid og kundene kommer til bygget. Et slikt bruksmønster vil føre til økt følsomhet for uforutsette forurensingskilder som kan oppstå i bygget. Slike kilder vil ikke være tatt med i dimensjoneringen og kan for eksempel være endret bruk av enkelte rom (høyere aktivitet eller persontetthet). Dette vil være gjeldende for alle systemtypene.

For hybride anlegg med slik bruksmønster vil besparelse som oppnås, komme som følge av lite trykktap i fordelingsnettet, fortrengningsventilasjon og eventuell årstilpasning av luftmengden. Ved tilfeller av årstilpasset ventilasjon vil luftkvaliteten naturligvis bli dårligere. Et stabilt bruksmønster vil også forenkle reguleringen av systemet.

Mekaniske anlegg med konstant luftmengde vil fungere bra med jevnt høy belastning. Anlegget vil levere den luftmengden som ble dimensjonert til et behov som er nesten

tilsvarende det bruksmønsteret som er i bygget. Dette vil følgelig gi lite overventilering og høy energieffektivitet. Et CAV anlegg med et slikt bruksmønster vil fungere bra. I og med at bruksmønsteret er jevnt vil også en normal driftstid passe godt inn for dette bruksmønsteret. Et minus vil være liten grad av temperaturkontroll i rommet, sammenlignet med DCV og hybride systemer.

Et behovsstyrt anlegg med jevn og høy belastning vil ha lite potensial for å spare energi. Man vil derfor ha vanskeligheter med å spare inn ekstra investeringskosnader som følge av komponenter for behovsstyring. Muligheten til innsparing her vil ligge i bruksmønster under maksimal belastning.

3.1.3. Lavt, varierende bruksmønster

Et slikt bruksmønster vil innebære liten tilstedeværelse, men med en del variasjon. Dette betyr at bruken av bygget varierer over ulike dager, både med hensyn på driftstid og tilstedeværelsesrate. Dette bruksmønsteret vil sannsynligvis være mer vanlig enn de overstående, der variasjonen kommer av for eksempel reisevirksomhet, fleksibel arbeidstid, kundebehandling eller salgsarbeid ute hos kunder. Brukerne er mindre på kontoret, men varierer arbeidstiden etter individuelt behov.

Et hybrid anlegg med lavt varierende bruksmønster vil kunne tilpasse seg dette såfremt anlegget har tilstrekkelig med sensorer for å oppdage variasjonen. Forsinkelse i systemet som følge av lave hastigheter vil imidlertid kunne skape svingninger. Dette kommer av lave hastigheter i fordelingssystemet, og må taes i betrakting når måleintervall for sensorer skal velges. Vanskeligere regulering kan føre til dårligere luftkvalitet i perioder, men det reguleringstekniske aspektet bør være overkommelig slik at ønsket luftkvalitet kan oppnås.

Mekanisk balansert ventilasjon uten regulering av luftmengden (CAV) vil også i dette tilfellet overventilere bygget. Variasjonen i bruksmønsteret kan føre til at driftstiden på anlegget må økes. Dette vil innebære ytterligere overventilering, og sammen med den lave tilstedeværelsen vil dette føre til dårlig energieffektivitet. Luftkvaliteten vil imidlertid være god på møterom og i åpne kontorlandskap da disse overventileres store deler av tiden.

Et bruksmønster med lav tilstedeværelse, men med en del variasjon passer DCV bra. Man vil utnytte både variasjonen og tilstedeværelsen slik at luftmengden som tilføres blir optimal i forhold til behovet. Bespart energi vil mest sannsynlig inntjene investeringskostnaden med komponentene nødvendig for behovsstyring (\22\). Anlegget har også god responstid slik at små pauser også kan utnyttes til å øke energibesparelsen.

3.1.4. Høyt, varierende bruksmønster

Profilen på dette bruksmønsteret vil være likt det foregående, men forskjøvet til en høyere tilstedeværelsesfaktor i forhold til dimensjonert bruk. Variasjoner i

bruksmønsteret tilsier også at det kan være nødvendig å øke driftstiden ut over normale forhold.

Både hybride og mekanisk behovsstyrte anlegg vil kunne tilpasse seg den varierende bruken. Hvis variasjonen innebærer økning i driftstiden til CAV-anlegget vil lønnsomhet med behovsstyring øke. Følsomheten for uforutsette forurensingskilder vil også bli høy, som for jevnt høyt bruksmønster.

3.1.5. Sterkt varierende bruksmønster

Bygg med sterkt varierende bruksmønster har tider der tilstedeværelsen varierer fra veldig høy til veldig lav innenfor arbeidsdagene.

Stor variasjon krever god kontroll over luftmengdene. Hybride anlegg med stor grad av naturlig drivkraftutnyttelse kan få problemer her. Hybride løsninger med mindre grad av ytre påvirkninger vil klare seg bedre. Hybride anlegg opererer imidlertid med svært lave trykkfall i fordelingsnettet som følge av lave hastigheter. Lave hastigheter og lite trykktap over tilluftsventilene kan føre til dårlig responstid på anlegget.

Anlegg med konstant luftmengde vil som nevnt tidligere ikke kunne utnytte variasjonen slik at energiforbruket reduseres. Variasjonen i bruksmønsteret vil ikke påvirke driften av anlegget og man har jevn tilførsel av luft. Luftkvaliteten vil være god, men man vil overventilere og dermed bruke unødig mye energi i perioder.

Et behovsstyrt mekanisk anlegg vil kunne tilpasse seg dette bruksmønsteret bra. Man utnytter variasjonene og luftmengden som tilføres er tilpasset bruken av bygget. Lønnsomheten i anlegget vil være avhengig av hvor mye anlegget drives på en tilstedeværelse under dimensjonerende nivå.

3.1.6. Bruksmønster og ventilasjonsløsning

I tabellen under er det satt tallverdier etter hvor stor grad de ulike systemene passer forkjellige bruksmønster ut ifra diskusjonen. Skalaen er delt inn i fire der 1 er veldig bra, 2 er bra, 3 er mindre bra og 4 er dårlig.

Bruksmønster	Hybrid	CAV	DCV
Jevnt lavt (<40 %)	1	4	1
Jevnt høyt (>90 %)	2	1	3
Lavt, varierende	1	4	1
Høyt, varierende	2	3	2
Sterkt varierende	2	3	1

Tabell 3-1, bruksmønster og ventilasjonsløsning.

3.2. Bygningsform

Det finnes nesten like mange bygningsformer som bygninger i Norge. Bygningsformen vil grovt sett være avhengig av;

- Tomt (orientering, vegetasjon, transport)
- Nabobebyggelse (gesimshøyder, siktlinjer, inngangsituasjon etc.)
- Logistikk
- Krav til lys, lyd, kommunikasjon
- Ventilasjonsløsning
- Ønsket utrykk (signalbygg, lager, bolig etc.)
- Bruker (ønsker og behov, sirkulasjon)
- Økonomi

Som man ser vil ventilasjonsløsning følge seg i rekken av mange ulike momenter som vurderes når en bygningsform skal velges. Bygningsform velges altså ikke bare ut ifra ventilasjonsløsning, men også andre faktorer. Det er derimot ikke en selvfølge at alle systemtyper passer alle bygninger like godt.

For å undersøke hvilke ventilasjonsløsninger som passer ulike bygningstyper skal det her sees det på ulike forenklede bygningsformer. En bygningsform kan for eksempel være lang, smal og lav, mens en annen kompakt og høy. Det er hensiktsmessig å gjøre inndelingen grov for å få generaliserbare resultater.

Det fokuseres på investeringskostnader som følge av kanallengder, kabling, gjennomførbarhet samt energiforbruk og tilpasningsdyktighet. Bygningen inneholder alle romtyper som et standard kontorbygg har.

Mekanisk balansert ventilasjon er bygd opp for å takle de fleste situasjoner, og dermed er det unødvendig å se på både CAV og DCV for ulike bygningsformer. Siden fokuset i oppgaven er behovsstyring av ventilasjon er det naturlig å sammenligne denne systemtypen med hybrid ventilasjon.

3.2.1. Smalt, langt bygg, 1-2 etasjer

Her tas det utgangspunkt i en bygning som er lang og smal med én til to etasjer. Bygningsformen gjør at man vil ha lange føringsveier og stor fasade. Større fasade øker varmetapet, men gir samtidig mulighet for god dagslysutnyttelse i store deler av bygget. Mekaniske anlegg i et slikt bygg vil desentralisering raskt bli et tema for å redusere kanalstørrelsen på hovedstrekkene. En annen mulighet vil være å dele opp hovedstrekket i flere parallelle kanaler. Siden bygningen er lang og smal vil lengden på fordelings-systemet bli stor og dette vil øke investeringskostnaden.

Et hybrid anlegg til et slikt bygg vil gå bra såfremt ikke de interne varmekildene er veldig store (\2\). Siden bygget er smalt kan dagslys utnyttes og luften kan spres i hele

bygningsbredden fra få sentrale punkter. Siden bygget er lavt vil man ha lite potensialet for utnyttelse av drivtrykk som følge av høydeforskjell. Disse kreftene utgjør en liten del av besparelsen for anlegget så dette er ikke et stort problem (\2\).

Hybride anlegg vil ofte installeres med en stor horisontal hovedføringskanal for tilluft og vertikale kanaler fra denne fordeler luften i ulike soner. Hovedføringskanalen kan brukes til varmelagring om sommeren og varmekilde om vinteren, og kan også inneholde andre rørføringer. Siden man her har få etasjer, vil dimensjonen på de vertikale føringsveiene til andre etasje være relativt små (som følge av moderate luftmengder til andre etasje). Den horisontale føringskanalen vil ofte være så stor at man kan utføre vedlikehold i den. Den gir lavt trykkfall i fordelingsnettet, men vil også ta opp mye plass, noe som gjør at den ofte plasseres under bygget. Et annet alternativ til hovedstrekk under bygningen er å tilføre luft direkte inn i cellekontorene gjennom fasaden. Dette vil spare mye plass til tilluftskanaler, men usikkerhet med hensyn til luftkvalitet og trekkfare gjør at dette er et dårlig alternativ.

Formen på bygget gjør at bussystemet vil bli langstrekt, men ha korte avgreininger. Siden man har samme krav for tilpasning til bruksmønsteret vil man ha like mange reguleringspunkter for begge systemtypene. Dermed vil lengden på bussystemet bli lik for hybrid og mekanisk behovsstyrt løsning.

Systemtype	Fordeler	Ulemper
Hybrid løsning	• Korte føringsveier	• Liten mulighet til desentralisering • Ønskelig med stor takhøyde • Støysmitte mellom soner vil kunne oppstå • Større kanaler vil medføre arealtap
Mekanisk løsning	• Mulighet for desentralisert anlegg	• Lange føringsveier og stort hovedstrekk

Tabell 3-2, systemtype i smalt langt bygg, 1-2 etasjer.

3.2.2. Lavt, kompakt bygg

Med kompakt bygg menes effektiv areal- og volumutnyttelse. Et slikt bygg vil ha liten fasade og dermed lavere varmetap enn en lang og smal bygning. Man vil samtidig ha sentrale rom i bygget der det vil være vanskelig å få inn dagslys. Slike rom, gjerne uten vindu, blir sjelden brukt til cellekontor, men heller møterom eller rom for lagring.

I et kompakt bygg kan man plassere mekanisk ventilasjonsaggregat sentralt og ha flere hovedstrekk ut fra teknisk rom til sonene. Dette gjør at dimensjonen på hovedstrekket blir mindre. Siden bygget er lavt med maks to etasjer vil desentralisering sannsynligvis ikke være nødvendig.

Både hybrid og mekanisk ventilasjon i et kompakt bygg vil få kortere hovedstrekk, noe som vil redusere kostnadene og øke volumutnyttelsen. Hybride hovedføringsveier kjennetegnes med lavt trykkfall og dermed store hovedkanaler. I et kompakt bygg vil dette føre til tap av areal såfremt ikke hovedkanalen ligger på taket eller under selve bygget. Kostnadene med slike føringsveier vil sannsynligvis overstige kostnadene for et tilsvarende fordelingsnett for mekanisk balansert ventilasjon.

Et kompakt kontorbygg kjennetegnes ofte med lav takhøyde og mange rom. Det hybride anlegget vil da miste muligheten til å bruke fortrengningsventilasjon i store deler av bygget. Energibesparelsen i forhold til mekanisk balansert ventilasjon vil da bestå av lavt trykktap i kanaler og overstrømningsventilasjon. Utnyttelse av naturlige drivkrefter antas å ha lite bidrag til energibesparelsen (\2\). Ut over disse tiltakene vil man også bruke behovsstyring, men det er også mulig med mekanisk balanserte anlegg.

3.2.3. Bygg med 3-6 etasjer

Dokka et. al (\2\) gir slike bygg litt dårligere mulighet for et hybrid ventilasjonssystem, spesielt når man har opp mot 6 etasjer. På grunn av høyt drivtrykk vil tilluft direkte inn fra fasaden blir vanskelig å kontrollere. Stort kapasitetsbehov vil føre til større kulvert og plassering av denne kan bli problematisk.

Flere etasjer kommer gjerne av liten tomt og vil ofte gi kompakte bygg. Krav om lavt trykkfall vil dermed øke nødvendig areal og volum til kanalføringer, noe som reduserer arealeffektiviteten.

Mekanisk balanserte anlegg kan fint implementeres i et høyt bygg, og har god nok fleksibilitet til å holde arealeffektiviteten høy. Kompakt bygningsutforming fører gjerne til lav takhøyde (2,4 m) og dermed vil mulig kanaldimensjon bli begrenset.

3.2.4. Arealeffektivitet

Det virker som kompakthet og hybrid ventilasjon passer dårlig sammen. Arealeffektivitet beskrives av Pettersen (\23\) som en viktig forutsetning for lave energi- og driftskostnader. Kontorbygg med stort arealforbruk har store cellekontor og i tillegg til store kommunikasjonsarealer, uformelle møteplasser, møterom og lignende. I prNS3563 (\13\) opplyses persontettheten til kontorlandskap og enkeltkontor å være henholdsvis 0,07 og 0,1 personer per m². Pettersen (\23\) opplyser allikevel at arealeffektive kontorbygg kjennetegnes med faste arbeidsplasser i tett kontorlandskap. Selv om prNS3563 (\13\) opplyser at en lavere persontetthet for cellekontor, vil redusert gangareal sannsynligvis føre til høyere persontetthet totalt for et bygg med kontorlandskap. Dette vil selvfølgelig være avhengig av hvor tett befolket kontorlandskapet er.

Siden hybride løsninger krever lavt trykkfall, vil en planløsning med mange cellekontor passe dårlig. Man vil da måtte tilføre luft i hvert cellekontor og for å opprettholde lavt trykkfall må kanalene ha større dimensjon enn for mekanisk balansert. Det kan bli problematisk å få store nok kanaler med et slik planløsning. For planløsning med

cellekontor kan hybrid løsning med tilluft gjennom vindu eller dobbel fasade fungere. De komfortmessige utfordringene med en slik løsning er imidlertid problematiske.

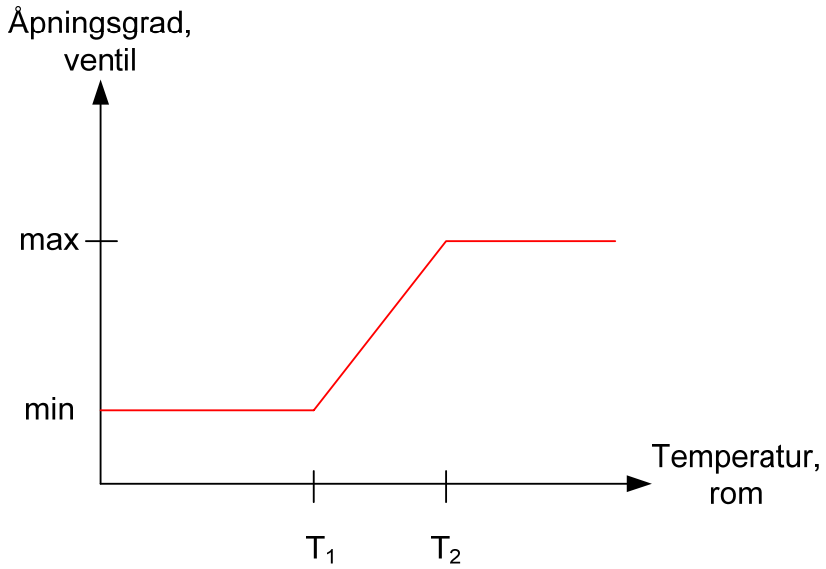
Kontorlandskap passer bedre for hybrid ventilasjon da man har færre tilluftspunkter. Som nevnt av Alsaker (\1\) kan slike lokaler vanskelig å behovsstyre. Dette kan i hovedsak komme av store variasjonsmuligheter i belastningen, både når det gjelder plassering og størrelsen av belastningen.

3.3. Temperaturvariasjon og bygningskropp

Siden ønsket temperatur innendørs som oftest er høyere enn utetemperaturen, vil man ha et varmetap fra bygningen til omgivelsene. Temperaturdifferansen mellom utetemperatur og ønsket innetemperatur genererer et varmebehov for bygningen. Siden bygningen har vindusflater vil man ha soltilskudd som går over til varme i bygget. I tillegg vil personer og utstyr være varmekilder slik at det totale varmebehovet til bygningen blir mindre.

Siden utetemperaturen varierer gjennom året, vil også varmetap og varmetilskudd som følge av solen variere gjennom året. Man har størst varmetap om vinteren og mest varmetilskudd om sommeren. Varmetapet utjevnes av varmeanlegget i bygningen, som vanligvis fordeles som vannbåren varme i form av gulvvarme eller radiatorer. Man bruker også fremdeles elektriske panelovner, selv om dette er en mindre termodynamisk effektiv måte å varme opp et bygg på.

Tilført varme til et rom reguleres i dag som regel med en termostatventil, med eller uten tilknytning til et SD-anlegg. Når temperaturen kommer over en viss grense, for eksempel 21 ºC, vil varmetilførselen strupes ned. Man kan også ha en glidende overgang mellom to grensetemperaturer slik at reguleringen blir mer dynamisk og variasjonene blir mindre som vist på figuren under (T_1>T_2).



Figur 3-1, regulering av varmepådrag ved ulik romtemperatur (ill: Sveinung Alsaker)

I perioder vil varmetilskuddet være større enn varmetapet slik at temperaturen i rommet stiger. Ventilasjonen i rommet vil bidra til å senke temperaturen i rommet siden tilluftstemperaturen normalt er rundt 19 ºC. Siden man har høyest utetemperatur om sommeren vil tilfeller med høy romluftstemperatur oftest oppstå i denne årstiden.

I revidert veiledning til Plan og bygningsloven (\10\, 2007) anslås en operativ temperatur mellom 19-26 ºC (lett arbeid) som tilfredsstillende for bygningen. På grunn av tider med høy utetemperatur tillates 50 timer per normalår med overskridelse av dette temperaturkravet. Hvis man overskrider denne grensen er det nødvendig å installere kjøling.

3.3.1. Bygg med kjølebehov

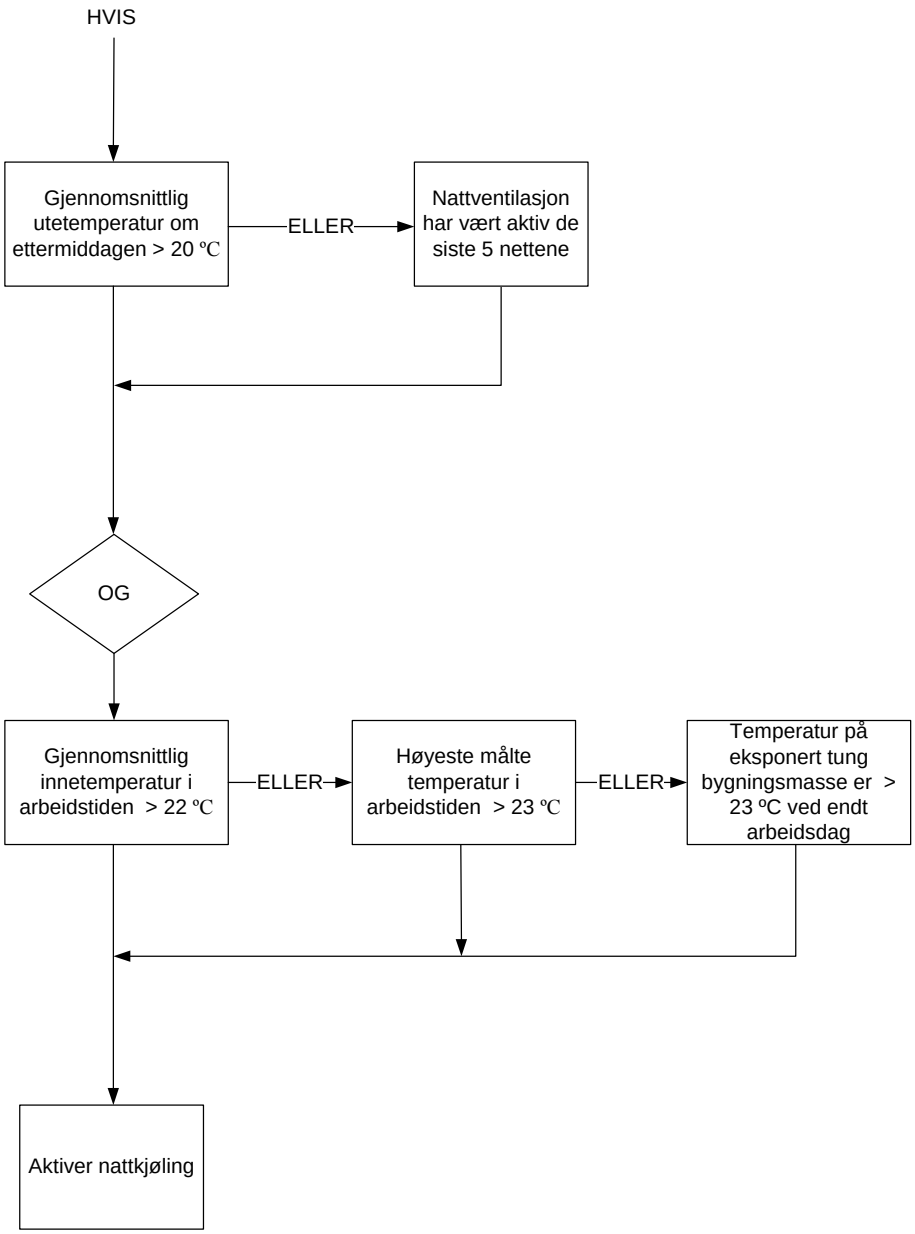
Hvis man er over grensen som er satt i Plan og bygningsloven (\10\) er det som sagt nødvendig å installere kjøling. Kjøling av rommet kan foregå på mange måter, for eksempel med kjøletak og kjølebafler med lokal kjøling av tilluften, eller man kan bruke ventilasjonsluften til kjøling. Dette gjøres ved at luftmengden økes ved økende temperatur i rommet og reduseres med synkende temperatur i rommet. Forutsetningen for at dette skal fungere er at tilluftstemperaturen er lavere enn ønsket temperatur i rommet.

Hybrid løsning

Bygninger med hybrid ventilasjon har strenge krav til energiforbruk, og kjøling unngås derfor så godt det er mulig. Bygg med store varmelaster (Q_{int}> 50 W/m²) passer dermed dårlig sammen med hybrid ventilasjon(\2\).

Siden kapasiteten på hybride anlegg er begrenset, vil man ha liten mulighet til å øke luftmengden for å redusere temperaturen i et rom. For å unngå separat kjøleanlegg bruker hybride systemer derfor ofte nattkjøling. Styringsstrategi for nattkjøling er beskrevet i ”Bygningsintegrert ventilasjon” (\2\, vedlegg B). Styringsstrategien har som mål å identifisere tidspunkt der kjøling er nødvendig, men samtidig holde energiforbruket lavt.
Figur 4.2 viser et flytskjema for aktivering av nattkjøling med utgangspunkt i beskrivelsen som gis av Dokka et. al (\2\, vedlegg B). Temperaturkravene som er satt opp er kun eksempler. En av mulighetene for aktivering av nattkjøling, er som figuren viser, hvis nattventilasjon har vært nødvendig de fem siste nettene. Styringsstrategien tar sikte på å kjøre nattkjøling i to ekstra netter etter en lang periode (5 netter) med nattkjøling. Figuren viser ikke hvordan man kommer ut av en lang periode med nattkjøling. For å gjøre dette må man ha en teller som sier når man har hatt nattkjøling de siste fem nettene som følge av høy utetemperatur. Dette er ikke tatt med i figuren, men må naturligvis være med i reguleringsfunksjonen. Tidspunktet for å starte nattkjølingen vil være avhengig av bruksmønsteret til bygget.

I og med at man har begrenset mulighet for kjøling vil man godta en litt høyere temperatur i sommerhalvåret og dermed redusere kravene til termisk komfort (\2\).



Figur 3-2, flytskjema for nattkjøling iht. \2\ (ill: Sveinung Alsaker)

DCV

I et behovsstyrt anlegg brukes ofte temperatursensorer for å kontrollere det termiske miljøet i bygget. Siden man allikevel skal regulere luftmengden er det enkelt å sette inn temperatursensorer i tillegg. Disse kan brukes til å kontrollere det termiske inneklimaet. Anlegget kan da brukes til kjøling, men da må kapasiteten til hver sone økes. Kapasiteten må økes tilsvarende luftmengden som må til for å redusere temperaturen fra beregnet temperatur uten kjøling til ønsket temperatur med kjøling. Investeringskostnadene til kjøleanlegg vil dermed bortfalle, men man vil få en økning i driftskostnadene til

ventilasjonsanlegget. Noen CO_2-sensorer har også innebygde temperatursensorer(\24\, KSCb).

Kontorer med behovsstyrt ventilasjon bruker tilstedeværelsessensor på cellekontor, gjerne kombinert med en temperatursensor. Ved bruk av ventilasjonsluft til kjøling kan man operere med to temperaturkrav som beskrevet av Alsaker (\1\, 5.3.2). Når brukeren ikke er til stede vil man dermed ha et annet temperaturkrav enn om brukeren er på kontoret. Dette vil redusere kjølebehovet og dermed bidra til reduksjon i energikostnadene. Samtidig vil et eventuelt stort vindusareal slippe mye sol inn i rommet, som vil øke temperaturen. Hvis man bruker tilluften til å kjøle med vil dermed luftmengden økes og energiforbruket blir høyere. Det er derfor viktig at fasadeløsninger og vindusareal er gjennomtenkt slik at temperaturøkning på grunn av uteklimaet blir minimal.

Om sommeren vil man ofte operere med andre krav til innetemperatur enn om vinteren. Dette gjøres på grunn av redusert bekledning på denne årstiden. Dette kan enkelt implementeres i SD-anlegget til bygget, og man vil dermed redusere kjølebehovet. Hvis bekledningen til brukerne er bestemt ut ifra arbeidssituasjon bør man være varsom med å øke temperaturkravet om sommeren. Det vil være naturlig og anta at siden temperaturen ute er høy om sommeren skulle man godta en høyere temperatur inne. Det er også en tendens i Europa at man godtar større temperaturglidning i bygg om sommeren (Hanssen, \9\). Ved å godta større temperaturglidning vil man redusere energiforbruket til kjøling. Dette er imidlertid noe som må legges inn i anleggets driftsstrategi.

Nattkjøling med et DCV anlegg er fullt mulig og kan gjøres etter behov. Hvis man bruker to temperaturkrav begrenser man varmebelastningen på rommet til soltilskudd og utstyr. Nødvendigheten for nattkjøling vil dermed være avhengig av hvor tung konstruksjonen er.

Dokka et. al (\2\) foreslår å bruke avkastkanalene til nattkjøling da man slipper varmetilførsel fra eventuell motor til viften i tilluftskanalen. Eventuelt kan man bruke bypass utenom unødvendige komponenter i aggregatet slik at energiforbruket minimeres.

CAV

Et bygg med CAV og kjølebehov har ingen mulighet til å øke luftmengden i enkelte rom som følge av dette behovet. Man kan øke luftmengden til hele bygget, men dette vil gi uakseptabelt høye energikostnader. Følgelig må man bruke andre installasjoner for å levere kjøling. Eventuelt kan man installere lokale kjølebatterier der temperaturen blir for høy. Man har sjelden kjølebehov i hele bygget og man kan dermed installere kjøling i de rom det trengs. Disse kan styres manuelt eller med tidsstyring. Ved tidsstyring vil man ikke redusere kjøleeffekten hvis brukerne ikke er der i arbeidstiden, mens for manuell drift kan brukerne glemme å skru av kjøleanlegget. Lokal automatisk temperaturstyring kan også brukes, men også denne vil ha begrenset mulighet til å redusere energiforbruket når brukerne ikke er tilstede.

Fordeler og ulemper

Under vises en oversikt over fordeler og ulemper ved ulike ventilasjonssystem i et bygg med kjølebehov.

Ventilasjonssystem	Fordeler	Ulemper
Hybrid	• Kulvert og nattkjølingsregulering kan brukes • Lavt energiforbruk	• Liten kapasitet til å takle et større kjølebehov • Periodevis dårlig termisk inneklima
CAV	• Ingen endring i energiforbruk i kjølesesong for de rom som ikke trenger kjøling iht. Plan og bygningsloven (\10\)	• Nødvendig med ekstra kjøleutstyr i rom med kjølebehov • Liten mulighet til sentral kontroll av kjøleinstallasjonene • Ofte nødvendig med manuell eller tidsbestemt styring • Middels kontroll på det termiske inneklimaet
DCV	• Mulighet for bruk av ekstra ventilasjonsluft til kjøling • God kontroll over det termiske inneklima • Mulighet for å redusere kjølebehovet ift. tilstedeværelsen • Mulighet for individuell kontroll over temperatur i rom	• Kan føre til høyt energiforbruk ved stort kjølebehov og høy tilstedeværelse på bygget.

Tabell 3-3, fordeler og ulemper ved ulike systemtyper i bygg med kjølebehov.

3.3.2. Bygg uten kjølebehov

Hvis man kommer innenfor grensen som er satt i veiledning til Plan og bygningsloven (\2\), vil man ikke trenge ekstra kjøling. Dette er gunstig for å unngå de ekstra kostnadene dette innebærer, både med tanke på investerings- og driftskostnader. Et bygg uten kjølebehov vil normalt være bedre plassert, ha mindre vindusareal og/eller være bedre isolert. Interne varmekilder bør også være begrenset. Et annet tiltak som reduserer kjølebehovet vil være naturlig eller mekanisk solavskjerming.

Hybrid løsning

Som nevnt i forrige punkt vil bygg med hybrid ventilasjon forsøke å unngå å ha et kjølebehov. Som ekstra tiltak om sommeren kan man bruke nattkjøling. Eventuell kulvert vil også bidra til å senke temperaturen på tilluften på varme sommerdager. De fleste hybride systemer passer best i bygg med mindre krav til termisk komfort. Normale krav i 80 % av oppholdstiden passer ifølge Dokka et. al (\2\) for modeller nevnt i denne veiledningen. Hvis man antar at et bygg blir brukt i 2000 timer per normalår vil kravet i Veiledning til Plan og bygningsloven (\10\) tilsvare normale krav i 97,5 % av oppholdstiden (50h/2000h = 2,5 %). Hybride anlegg går dermed ut over de eksisterende kravene som gjelder for termisk inneklima i bygninger, og dette vil bidra til et lavere energiforbruk for anlegget.

DCV

I et behovsstyrt anlegg brukes ofte temperatursensorer for å kontrollere det termiske miljøet i bygget. Siden man allikevel skal regulere luftmengden er det enkelt å sette inn temperatursensorer i tillegg. Noen CO_2-sensorer har også innebygde temperatur-sensorer(\24\, KSCb). I og med at temperaturen ofte blir brukt i DCV-anlegg, kan man bruke dette til å kontrollere eventuelle kjølebehov. Man er da avhengig av å ha kapasitet til å levere ekstra luft for å senke temperaturen i rommet.

I et bygg uten kjølebehov vil man ha lufttemperaturer som havner utenfor det ideelle, både teoretisk og praktisk. For å finne ideell teoretisk lufttemperatur brukes operativ temperatur ut ifra aktivitet, bekledning og årstid. Forslag til ny EU standard prENrev 15251:2006 (\25\) bruker en graf (\25\, figur A1) for å framstille designverdier for operativ temperatur i forhold til midlere utetemperatur for bygninger uten kjølebehov. Grafen skiller mellom sommer og vinter, men området for midlere utetemperatur er for lite til å brukes for et norsk klima. Laveste midlere utetemperatur for sommerdrift er for eksempel 15 ºC, noe som man ofte vil komme under i en typisk sommer i Norge. Dette problemet er identifisert, og Hanssen (\26\) viser en utvidet graf for mer norske forhold. For bygningskategori 1 anslås her operativ temperatur til å være 23 ºC om sommeren og 21 ºC om vinteren. Disse temperaturene gjelder for midlere utetemperatur mellom -5 ºC til 9 ºC om vinteren og -5 ºC til 18 ºC om sommeren. Høyere midlere utetemperatur (Θ_{rm}) fører til en stigning i operativ temperatur på cirka 0,4 ºC per 1 ºC i økt Θ_{rm}. Forslag til ny EU-standard (\25\), som er utgangspunktet for disse settpunktene for sommer og vintertemperatur, forutsetter at man har mulighet til å åpne vinduer lokalt.

I praksis vil personlige forskjeller spille inn på ønsket operativ temperatur, og man får avvik fra den teoretiske verdien. For å kompensere for personlige forskjeller kan man installere temperaturkontroll på kontoret. Slik kontroll passer best på cellekontor, men kan også brukes på møterom. Kontorlandskap vil ha mindre nytte av en slik kontroll på grunn av variert oppfatning av hva som er ideell temperatur.

Siden DCV ofte implementerer kontroll av det termiske miljø vil man få bedre kontroll på denne delen av inneklimaet. Det vil også innebære at man får en økning i luftmengden om sommeren. Økningen i luftmengde vil være avhengig av hvor godt bygningen takler

variasjonen i utetemperatur og solinnskudd. En bygning med dårlige vinduer uten solavskjerming vil få høyere temperatur om sommeren. Denne temperaturøkningen vil DCV-anlegget jobbe imot og dermed øker energiforbruket.

Et bygg uten kjøleanlegg og behovsstyrt ventilasjon vil altså ha en økning i energiforbruket på grunn av bruk av temperatursensor. Dette forutsetter at man ikke reduserer luftmengden under kravene som gjelder for luftmengde per person. Selv om energiforbruket øker vil DCV sikre termisk komfort for brukerne.

CAV

En bygning med konstant luftmengde uten kjøling antar man at temperaturen i noen rom ikke overstiger 26 ºC mer enn 50 timer per år. Hvis dette er tilfellet kan allikevel temperaturen i verste fall ligge på 25,9 ºC i store deler av sommerhalvåret. Temperaturen vil variere mellom sonene, men man vil bare ha mulighet til å regulere tilluftstemperaturen sentralt. Med et CAV-anlegg har man ikke mulighet til å kompensere for den økte temperaturen, og flere brukere vil være misfornøyde med det termiske inneklimaet. Dette vil spesielt gjelde for kontorbygg med krav om bekledning.

Siden man ikke kompenserer for høyere temperatur om sommeren, vil energiforbruket være konstant.

Fordeler og ulemper

Under vises fordeler og ulemper med ulike ventilasjonssystem i et bygg uten kjølebehov i henhold til veiledningen til Plan og bygningsloven (\10\).

Ventilasjonssystem	Fordeler	Ulemper
Hybrid	• Mindre temperatur-variasjoner innendørs vil øke den termiske komforten for anlegget • Nattkjøling og eventuell kulvert vil bidra til økt termisk kontroll	• Stor sannsynlighet for tidvis dårlig termisk inneklima
CAV	• Ikke behov for ekstra investeringer i kjøleanlegg • Jevnt energiforbruk hele året	• Meget begrenset kontroll av termisk inneklima • Feilvurderinger i prosjekteringsfasen kan resultere i uheldige temperatur-forhold i bygget.
DCV	• Mulighet for temperaturkontroll • Temperaturregulering vil sikre ønsket temperatur over hele året • Mulighet for individuell temperaturkontroll • Bedre kontroll av temperatur kan øke produktiviteten på kontoret (\21\)	• Med likt temperatur-krav om sommer og vinter vil energiforbruket øke • Økt temperaturkontroll over året vil gi økte energikostnader

Tabell 3-4, fordeler og ulemper med ulike ventilasjonssystem i bygning uten kjølebehov.

3.4. Diskusjon

Hvordan et bygg brukes vil ha stor innvirkning på dens energiforbruk. I dette kapitlet er ulike bruksmønster diskutert i forhold til ulike systemer. Det er viktig å poengtere at ulike mål med anlegget vil gi ulike resultater. I kapittel 3.1 er bruksmønster sett i sammenheng med ventilasjonssystem og hvordan regulering og energiforbruk passer sammen med de ulike systemene. Det er også til en viss grad tatt hensyn til luftkvaliteten. Hvis hovedmålet er reduksjon av energiforbruk vil vurderingen i tabell Tabell 3-1 sett annerledes ut.

Å generalisere bruksmønster er vanskelig. Hvert bygg og hver bedrift har ulike rutiner som gjør at bruksmønsteret varierer fra bygg til bygg. Normalt brukes de fleste bygg mest mellom klokken 08:00 og 16:00. Bruksmønster med henholdsvis lav og høy tilstedeværelse innenfor disse områdene er derfor vurdert. Variasjonen innenfor disse områdene er også vurdert. Mange små pauser vil gi et hakket bruksmønster som vil være vanskeligere å utnytte med et tregt system. Hybride system vurderes som tregere enn mekanisk balanserte, da hastigheter i kanalnettet er lavere. Treghet og regulerbarhet for ventilasjonssystem er imidlertid et komplisert emne, og hastighet i kanaler er bare en av flere faktorer som spiller inn på dette.

Noen av de tenkte bruksmønstrene er nok mer vanlige enn de andre, for eksempel vil man alltid ha en viss variasjon i bruksmønsteret over dagen. Grad av jevnhet kan derfor diskuteres. Et annet forhold som spiller inn på ventilasjonsløsning og bygningskropp er endring av bruksmønster i løpet av byggets levetid. Et kontorbygg skifter gjerne eiere flere ganger i løpet av levetiden til bygget. Siden hybride installasjoner gjerne er en del av bygningskroppen vil en endring i planløsningen være vanskeligere. Det er sannsynligvis derfor de fleste bygg med hybrid ventilasjon i Norge er skolebygg som har liten sjanse for å få en stor endring i bruksmønsteret.

Typiske bygg med hybrid ventilasjon har gjennomtenkte løsninger for bygningsutformingen som innebærer ofte at bygget har få etasjer og lite unødvendig varmetilskudd til bygget. Siden anlegget har store krav til bygningen må prosjekterende arkitekter ta større hensyn til de tekniske installasjonene. På den måten begrenses arkitektens mulighet for utfoldelse, men samtidig kan man oppnå svært lave driftskostnader. Mekaniske anlegg har større tilpasningsdyktighet til ulike bygningsformer enn hybride anlegg, men dette kan også gå på bekostning av inneklimaet. For å redusere driftskostnadene er det også her nødvendig med gode tekniske løsninger.

Temperaturkontroll og behovsstyrt ventilasjon synes å være en utfordring for at ikke fortjenesten skal bli mindre. Siden man har så god temperaturkontroll vil man kunne kontrollere temperaturen i perioder der dette kanskje ikke er så nødvendig. Større toleranse for temperaturglidning i et bygg om sommeren vil bedre driftsøkonomien for anlegg med konstant luftmengde, mens behovsstyrte anlegg med god termisk kontroll vil miste inntjeningspotensial. For å finne ut hvordan temperatursettpunkt varierer energiforbruket bør det gjøres simuleringer for de ulike tilfellene.

Når man sammenligner ulike systemer burde ideelt sett, systemene samme termiske krav. Denne oppgaven antar imidlertid at de termiske kravene i bygninger med konstant luftmengde er noe mer flytende. Denne antagelsen kan diskuteres. Det antas her at i praksis, vil man ikke ha like strenge termiske krav i CAV-anlegg som man gjerne automatisk får med behovsstyrte anlegg. I forbindelse med prosjektering av behovsstyrte anlegg bør derfor termisk kontroll fremheves som en fordel i forhold til anlegg med konstant luftmengde. Man bør imidlertid være klar over at denne forbedringen kan føre til økt energiforbruk relatert til et CAV-anlegg med mindre temperaturkontroll.

Et større fokus på materialbelastning og valg av materialer burde inngått i denne delen. Valg av luftmengde som følge av materialbelastning har også et stort potensial for å redusere energiforbruket. Eksisterende krav oppgir en variasjonsmulighet mellom 0,7 og 2 l/s per m² noe som vil ha store innvirkninger på både drifts- og investeringskostnader ved mekanisk balansert ventilasjon (\1\). Problemet har imidlertid vært å identifisere hvordan emisjonen er for ulike materialer. PrENrev 15251 (\25\, Anneks C) gir retningslinjer for hvordan en lavemitterende bygning kan identifiseres. I stedet for å fokusere på olf-faktor for materialene(som prNS 3563 (\13\)), brukes maksimal emisjonsfaktor fra kjente stoffer som for eksempel TVOC, formaldehyd, ammoniakk og lignende. Hvis man vet emisjonsfaktoren fra materialer man skal bruke i bygningen kan man dermed forsvare en lavere grunnventilasjon. Mer kunnskap om materialer ved prosjektering vil kunne redusere energiforbruket for alle ventilasjonsløsninger.

Det er mange faktorer som spiller inn i forholdet mellom bygningskropp og ventilasjonsløsning. Faktorer som kunne vært diskutert i teksten er blant annet robusthet, tilpasningsdyktighet samt materialbelastning.

3.5. Oppsummering

Fleksibiliteten til behovsstyrt ventilasjon i forhold til bruksmønster synes å være stor. Man kan tilpasse seg alle bruksmønster, men inntjeningspotensialet er avhengig av det faktiske bruksmønsteret. Bygg med hybrid ventilasjon synes å ha mer vertikale tilluftpunkter enn hva som er vanlig for mekaniske anlegg. Større føringsveier vil dermed gå ut over arealeffektiviteten til bygget og dette er spesielt ugunstig for høyere, mer kompakte bygg.

Hvordan bygningen er bygd opp vil påvirke varmetapet og varmetilskuddet til bygningen. Hvis man har en bygning uten kjølebehov vil graden av temperaturkontroll spille en stor rolle på hvordan energiforbruket blir. En enkel ventilasjonsløsning uten særlig temperaturkontroll vil påvirkes minimalt av temperaturvariasjoner i bygget. En behovsstyrt ventilasjonsløsning med stor grad av temperaturkontroll vil i samme bygg måtte øke luftmengden hvis ventilasjonen brukes som kjøling. På den måten vil den enkle løsningen ha lavere energiforbruk, mens behovsstyrt løsning får redusert besparelsen på grunn av termisk kontroll.

Bygningskroppen vil også ha mye å si for samspillet mellom ventilasjonsløsning og bygning. På samme måte som bruksmønster er en generalisering også vanskelig her. Siden hybride anlegg utnytter naturlige drivkrefter, vil dette spille inn på utformingen av bygget. Man er også avhengig av store volum for føringsveier siden trykkfallet i kanalnettet skal være lavt. Hybride anlegg kjennetegnes med vertikale tilluftspunkter mens mekanisk balanserte anlegg i hovedsak har horisontalt fordelingsnett. Siden lave trykkfall er en forutsetning for energiøkonomisk drift, vil planlegging av føringsveier være svært sentralt tidlig i planleggingsfasen av bygget.

Bygg med kjølebehov og behovsstyrt ventilasjon er gode eksempler på hvor viktig det er med integrering mellom bygning og ventilasjonsløsning. Behovsstyrte ventilasjonsanlegg har gode muligheter til å kontrollere det termiske inneklimaet. Hvis varmetilskuddet er høyt vil ekstra energi være nødvendig for å holde temperaturen nede og dermed vil driftskostnadene øke. Et tilsvarende bygg med konstant luftmengde vil derimot ha lokal kjøling ved kritiske punkter og vil dermed begrense energiforbruket til kjøling ved å godta at andre soner har større temperaturglidning.

Generelt sett synes hybride anlegg å være mer avhengig av en god bygningsintegrering for å fungere. Bruksmønster og bygningform er derfor veldig viktig ved prosjektering av slike anlegg. Behovsstyrt mekanisk ventilasjon vil fungere godt selv med liten integrering med bygningen, såfremt kapasiteten til anlegget er stor nok. Energiforbruket til DCV-anlegg synes derimot å være avhengig av bygningskroppen. Det vil være spesielt viktig å redusere kilder som kan øke temperatursvingningene i bygget over dagen, spesielt hvis DCV-anlegget skal brukes som kjøling.

4. DCV i praksis

For å få mer innblikk i hvordan et DCV anlegg fungerer vil det være interessant å se hvordan ulike styringsparametere endrer seg over tiden for et eksisterende bygg. Dagens datagrunnlag for tilstedeværelse i norske bygninger er tynt og det er vanskelig å anslå hvordan tilstedeværelsen er på for eksempel kontorbygg. Dette vil selvsagt variere, men med et større datagrunnlag vil man kunne gjøre bedre antagelser om besparelse ved behovsstyring. Dette vil kunne hjelpe prosjekterende ingeniører å identifisere potensialet for, samt konkretisere energibesparelsen ovenfor byggherre.

Gassco's kontorbygg på Karmøy har nylig blitt utvidet og har et avansert behovsstyrt ventilasjonsanlegg i den nye delen. Gassco var veldig imøtekommende for logging av ventilasjonsanlegget da de allerede har plassproblemer. En oversikt over tilstedeværelsen i bygget vil kunne gi dem verdifull informasjon om bruksmønsteret til de ansatte. Denne informasjonen vil også være verdifull ved en ytterligere utvidelse.

4.1. Bygget

Gassco har ansvaret for transport av gass fra den norske kontinentalsokkel til Europa. Dette innebærer planlegging av nye rørledninger samt å vurdere behovet for og samordne videreutviklingen av gasstransportsystemet. De administrerer også kapasiteten som til enhver tid finnes i rørnettet og behandlingsanleggene (\27\).

Bygget er et typisk kontorbygg lokalisert på Karmøy på sørvestkysten av Norge. Det består av en gammel del og en ny del. Den gamle delen har et konvensjonelt CAV-anlegg og termostatstyrte panelovner. Nybygget (ferdigstilt 2005) er bygd sammen med gammel del og har behovsstyrt ventilasjonsanlegg som sekvensstyres med varmeanlegget. Den nye delen består av tre kontoretasjer på cirka 1150, 1180 og 930 m² fra første til tredje etasje. En underetasje på 350 m² brukes til diverse tekniske installasjoner. I første etasje ligger det en kantine.

Nybygget inneholder cellekontor og møterom, samt kantine i første etasje. Det er også små fellesarealer spredt rundt i lokalet. Det ble loggført tilstedeværelse på totalt 86 cellekontor. Dette er inkludert tre kontorer som ble bygget i overgangen mellom gammel og ny del. I disse tre ble det installert behovsstyrt ventilasjon, men panelovnene ble beholdt fra gammel del. De øvrige 83 cellekontorene ble installert med et vannbårent radiatorsystem, i tillegg til behovsstyrt ventilasjon. Hovedtyngden av cellekontorene har et grunnareal på rundt 11 m², men noen er også større rom på rundt 27 m². De større rommene var tenkt som grupperom, men har på grunn av plassmangel blitt mer stasjonære arbeidsplasser for flere personer. Noen store kontorer brukes også som enkeltmannskontor.

4.1.1. Bruksmønster

Det blir anslått av Kjell Skorild (\28\) at 15-20 % av brukerne er på reise til en hver tid. Han anslår også at møterommene er fylt opp til enhver tid, men da stort sett med egne folk. Lunchtiden er mellom 11:00 og 12:30. Brukerne av nybygget arbeider med blant annet prosjekter med gassledninger og arbeidet innebærer mye PC-arbeid.

4.1.2. Klima

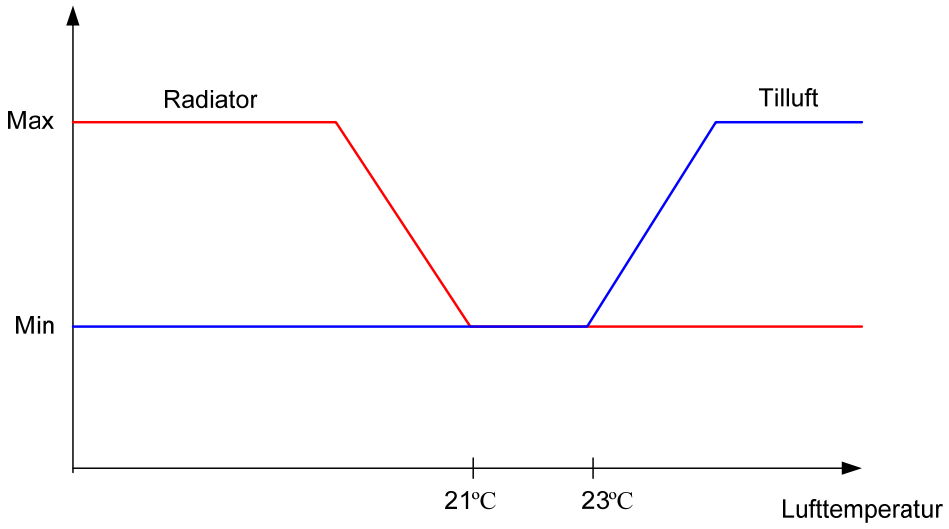
Bygget ligger i Karmøy kommune på Bygnes. Det er rimelig godt skjermet av terrenget på østkysten av Karmøy (se vedlegg B for situasjonsplan). Temperaturvariasjonen over året i denne delen av landet er liten. Metrologisk institutt (\29\) oppgir en midlere temperatur på 7,4 ºC over en 30-års periode på Utsira, som er en liten kommune rett utenfor Karmøy. Ingen måneder har gjennomsnittlig temperatur under null grader celsius, og høyeste midlere temperatur er 13,6 ºC i august måned. Man må ta i betraktning at bygget ligger skjermet til og at nevnte temperaturdata kommer fra en øy med høy eksponering for vind. Man vil derfor sannsynligvis få høyere temperaturer om sommeren på grunn av byggets plassering i terrenget.

4.1.3. Reguleringsprinsipp

Cellekontor

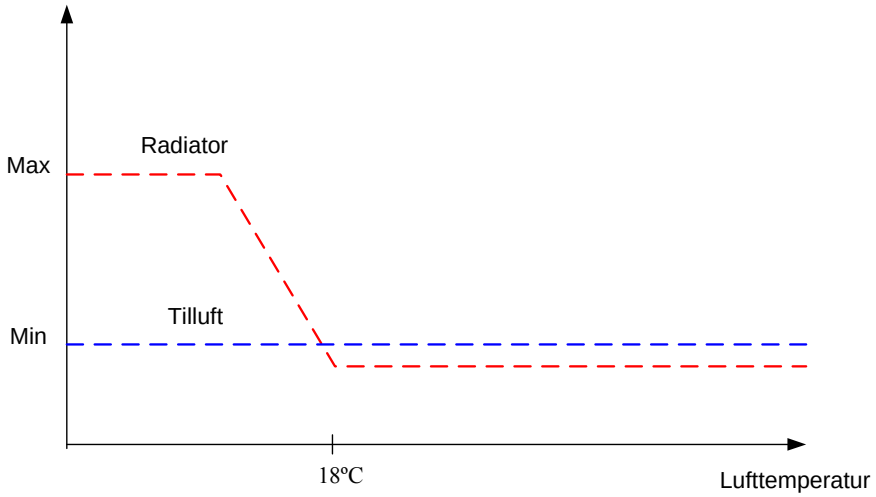
Alle cellekontorene har temperatur og tilstedeværelsessensorer (se vedlegg G for datablad) som kontrollerer temperaturkrav samt lys og tilført luftmengde på rommet. Temperaturen styres av både tilluften og radiatoren. Radiatoren har da en elektrisk motor som regulerer pådraget.

Man har to temperaturkrav, ett for når brukeren er på kontoret og ett når han er borte. Når brukeren er der prøver systemet og holde temperaturen mellom 21 og 23 ºC. Radiatoren strupes opp mot denne temperaturen mens ventilasjonen holdes konstant for materialbelastning i samt et tillegg for person (totalt 35 l/s). Hvis temperaturen stiger vil luftmengden økes (se Figur 4-1). Dette skjer imidlertid ikke før temperaturen stiger over 23 ºC (\30\). Øvre grense for maksimalt tilført luftmengde er 50 l/s. Man har altså 15 l/s til å kjøle med. På grunn av individuell oppfatning av termisk komfort er det installert temperaturregulator for lokal settpunktsjustering(± 3 ºC) for det øvre temperaturkravet.



Figur 4-1, reguleringsprinsipp for radiator og tilluft ved tilstedeværelse på cellekontor. ill: Sveinung Alsaker

Når brukeren ikke er på kontoret vil temperaturkravet endres til 18 ºC og ventilasjonen skrues ned til et minimum(20 l/s) som innebærer fjerning av materialforurensinger. Dette er illustrert i Figur 4-2.



Figur 4-2, reguleringsprinsipp for radiator og tilluft i tomt cellekontor. (ill: Sveinung Alsaker)

Reguleringssystemet for cellekontoret er koblet sammen med et kontrollsystem i vinduene. Dette kontrollsystemet gir beskjed til sikkerhetsansvarlige om vinduer står åpne etter arbeidstiden. Hvis et vindu er åpent på et kontor vil ventilasjonen reduseres til samme minimumsverdi som hvis personen ikke er tilstede.

For å redusere kjølebehovet er det installert utvendig solavskjerming som reguleres automatisk ved hjelp av strålingssensorer.

Møterom

Det er totalt åtte møterom i ny del på Gassco. Møterommet reguleres etter temperatur og CO_2-nivå. Temperaturreguleringen fungerer på samme måte som for cellekontorene, men CO_2-nivået reguleres parallelt med minimum tilførsel ved 400 ppm og maksimum tilførsel ved 1000 ppm. Størst avvik fra settpunktsverdi for de to parametrene vil bestemme tilført luftmengde. Det er også tilstedeværelsessensor på møterommene, men denne regulerer kun lys og temperaturkrav.

Øvrig areal

Kantinen behovsstyres på samme måte som møterommene, men har ikke tilstedeværelsessensor for lysregulering. Siden det ikke ble logget data fra kantinen blir ikke den omtalt noe mer.

Ganger og samlingsarealer er ventilert med konstant luftmengde ut ifra materialbelastning (\31\).

4.1.4. Logging

Logging av data fra bygget startet 31.1.2007 klokken 20:00:20 og ble avsluttet 20.3.2007 klokken 17:40:20, noe som gir data over cirka 49 dager. Det ble registrert tilstedeværelse på 86 cellekontor og 8 møterom. Tidsintervallene mellom hver logging er fem minutter, men tidsforsinkelsen i reguleringen er 20 minutter. Dette betyr at SD-anlegget spør regulatoren hvilken innstilling den står på hvert femte minutt. Tidsforsinkelsen på regulatoren er imidlertid 20 minutter så den endrer ikke verdi før det har gått 20 minutter.

Ideelt sett bør tidsforsinkelsen være minst mulig slik at dataene blir så korrekte som mulig. Dette har vært gjort tidligere ved at man logger med en tidsforsinkelse, mens en annen tidsforsinkelse styrer reguleringen. Dette ble forsøkt, men programinnstillinger i regulatoren på spjeldet hindret bruk av to tidsforsinkelser (\30\). Siden man ikke kunne ha to tidsforsinkelser ble den ene tidsforsinkelsen redusert til 5 minutter. Denne styrer imidlertid også lys, og det ble raskt mye klager på anlegget. Tidsforsinkelsen ble derfor justert tilbake til 20 minutter. Selv om loggen viser data på fem minutts intervall er den egentlige tidsforsinkelsen 20 minutter.

Når man logger tilstedeværelse vil man komme inn på personvernloven. I samtale med Norsk samfunnsvitenskapelig datatjeneste (\32\) kom det fram at en inndeling av kontorer i grupper på 3-4 cellekontor gjorde at man slapp å søke om godkjenning for undersøkelsen. Behandlingstiden for en slik søknad er 1 måned, og dette ble sett på som for lang tid i forhold til dette prosjektet.

Som følge av samtalen med NSD (\32\) ble det gjennomført en sonedeling av cellekontorene. De ble inndelt i 8 ulike soner i forhold til etasje og plassering.

Et eksempel fra rådataene fra tilstedeværelsesregistreringen fra en sone er vist under.

		ROM 1	ROM 2	ROM 3
Dato	**Tid**	**Verdi**	**Verdi**	**Verdi**
20.02.2007	09:20:20	0,00	3,00	3,00
20.02.2007	09:25:20	0,00	3,00	3,00
20.02.2007	09:30:20	0,00	3,00	3,00
20.02.2007	09:35:20	0,00	3,00	3,00
20.02.2007	09:40:20	0,00	3,00	3,00
20.02.2007	09:45:20	0,00	3,00	3,00
20.02.2007	09:50:20	0,00	3,00	3,00
20.02.2007	09:55:20	0,00	0,00	0,00
20.02.2007	10:00:20	0,00	0,00	0,00

Tabell 4-1, utrag fra loggdata fra Gassco

Rommene i sonen ble tilegnet tilfeldige nummer slik at tilstedeværelsen ikke kunne knyttes opp mot et spesielt kontor. Hvis personen ikke er tilstede vises dette som et tretall, mens tilstedeværelse på kontoret indikeres med 0. Som man ser i Tabell 4-1 er brukeren i rom 1 tilstede mellom 9:20:20 og 10:00:20, mens brukerne i rom 2 og 3 ankommer mellom 9:50:20 og 9:55:20.

Tabell 4-1 viser at er det registrert verdier hvert femte minutt uavhengig av tidligere verdier. Tilsvarende undersøkelse gjort av Halvarsson et. al (\33\) ble gjennomført med en litt annen datasamling. Man registrerte kun tidspunkt for endring fra inne til ute og omvendt. Denne måten gir mindre datamengder, men øker kompleksiteten når man skal behandle dataene siden tidspunktene mellom hver måling er ulik.

Møterommene brukes av flere personer og man trenger derfor ikke ta hensyn til personvernloven for denne datamengden. Møterommene blir derfor identifisert med romnummer.

I tillegg til tilstedeværelse ble det logget regulering for en sone med cellekontor samt tre møterom. Følgende parametere ble logget i tillegg til tilstedeværelse;

- Cellekontor
  - Lufttemperatur (ºC)
  - Varmepådrag (%)
  - Utetemperatur(ºC)

- Møterom
  - Lufttemperatur (ºC)
  - Varmepådrag (%)
  - CO2-nivå (ppm)
  - VAV-spjeld (%)
  - Luftmengde (l/s)
  - Utetemperatur (ºC)

Tidsskrittene for disse målingene var de samme som for tilstedeværelsesmålingene.

4.1.5. Behandling av data

Dataene fra Gassco ble levert i form av 11 excelfiler der ni var tilstedeværelsesdata fra åtte soner pluss møterom. De øvrige to filene inneholdt data for regulering fra en sone og tre møterom.

Dataene ble behandlet i Matlab (R2006a). Ulike skript ble laget for å sortere ut relevant data i ønsket format. Det ble laget tre hovedskript for henholdsvis tilstedeværelsesdata, reguleringsdata cellekontor og reguleringsdata fra møterom. Siden tidsforsinkelsen ble redusert i starten, uten hell, har datamengden to ulike tidsforsinkelser. Tidsforsinkelsen de første dagene er 5 min, mens den for resten av datamengden er 20 minutt. Analysert datamengde ble derfor redusert til å gjelde fra 5.2.07 til 20.3.07, for å unngå data med ulik tidsforsinkelse.

I hovedskriptet for de ulike datamengdene ble det laget ulike funksjoner som ordnet datamengden. Tilstedeværelsesskriptet ble lagd slik at ulik arbeidstid kunne legges inn. På den måten blir skriptet mer fleksibelt. Data fra et rom er ikke avhengig av et annet så datamengden kan summeres og på den måten gi gjennomsnittlige verdier for tilstedeværelse på Gassco. Skriptet for tilstedeværelse ble brukt på tilstedeværelsesdata fra cellekontor og møterom.

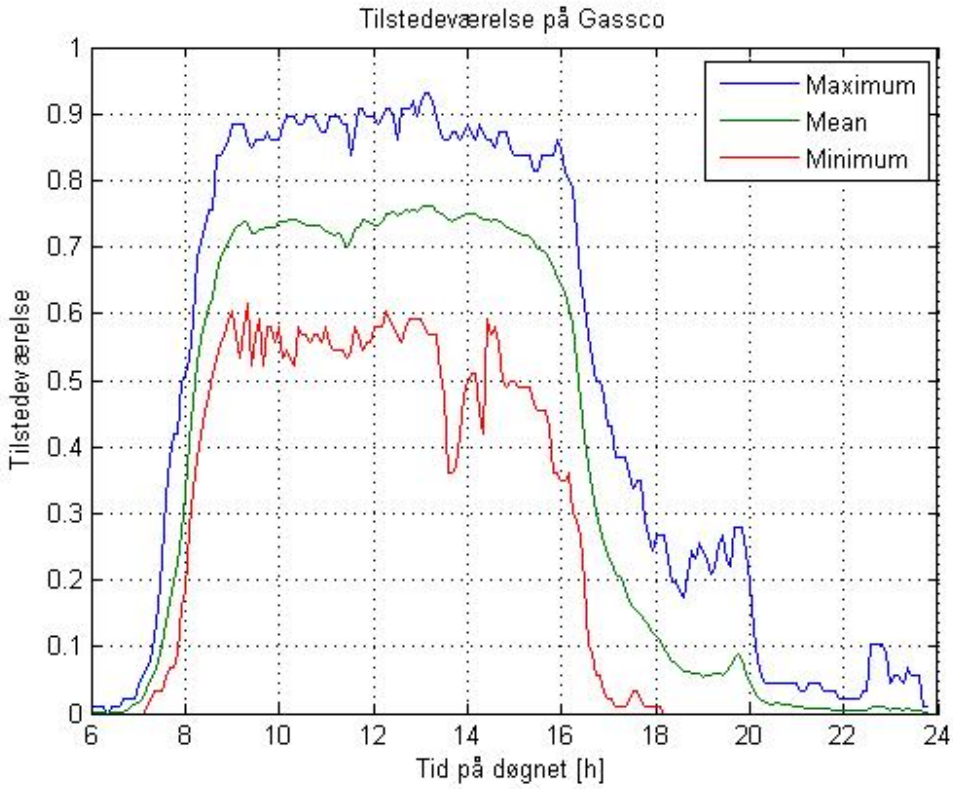
Skript for reguleringsdata ble satt opp på en litt annerledes måte. Man kan ikke summere dataene siden reguleringsprinsippet er avhengig av tilstedeværelse. Skriptet ble derfor lagd for å ta ut enkelte dager og plotte dataene over en dag. Modifikasjoner ble også gjort for å ta ut to dager i samme figur. Ut ifra grafene kan man verifisere at det aktuelle reguleringsprinsippet fungerer. Siden reguleringen er avhengig av tilstedeværelse ble denne dataen inkludert i skriptet. Det ble bekreftet at det var overensstemmelse mellom identifikasjonsnummer for rom i tilstedeværelsesdata og reguleringsdata (\30\). Skriptene for reguleringsdata fra cellekontor og møterom har lik oppbygning, foruten at det er flere loggede parametere for møterom.

For å få bedre oversikt over reguleringsdataene ble det laget en funksjon som tar ut maksimal og minimal verdi for ulike regulerte parametere, inkludert dagen dette skjedde.

Programkoden vises i vedlegg F.

4.2. Tilstedeværelse på Gassco

Gjennom loggingen kan man illustrere tilstedeværelsen på Gassco. Grafen i Figur 4-3 er laget på grunnlag av data fra 5.2.2007 kl 0600 til 19.3.2007 kl 2355. Selv om grunnlaget for grafen er lagd ut ifra cirka en og en halv måned, har data fra andre bygg vist at månedsdata normalt er ganske nært hvordan fordelingen er over hele året (\34\). På grunn av tidsforsinkelsen på 20 minutter vil tilstedeværelsen være høyere enn hva den er i virkeligheten. Hvis loggingen hadde foregått med en tidsforsinkelse på fem minutter, ville trolig tilstedeværelsen vært rundt 5-10 prosentenheter lavere enn hva figuren viser (\34\). Dette kommer av bortfallende data som følge av den høye tidsforsinkelsen. Hvis personen for eksempel er ute av kontoret i 19 minutter vil ikke dette oppdages av SD-anlegget. Selv om den faktiske tilstedeværelsen er lavere enn hva som illustreres under, vil anlegget styres etter den figurerte tilstedeværelsen. Det er dermed denne tilstedeværelsen som blir aktuell å bruke for beregning av energibesparelser.



Figur 4-3, tilstedeværelse på Gassco

Grafen viser maksimal, gjennomsnittlig og minimal tilstedeværelse på 86 cellekontor. Maksimal (blå kurve) og minimal (rød kurve) tilstedeværelse er funnet ved å finne den største og minste tilstedeværelsen i hvert målingspunkt. Disse viser altså ikke virkelige dager, men størst og minst tilstedeværelse i hvert enkelt målepunkt. Lørdag og søndag er tatt ut av datamengden.

Man ser av Figur 4-3 at hovedbelastningen av brukere forekommer mellom 08:00 og 17:00. Mellom cirka 09:00 og 15:00 er gjennomsnittlig tilstedeværelse over 70 %. Selv om hovedtyngden ligger i den tradisjonelle arbeidstiden, ser man at det er brukere på bygget fra kl 06:00 til kl 23:50, og det vil dermed være nødvendig å ventilere små deler av bygget i disse periodene. Selv minimal tilstedeværelse for bygget viser at brukerne er tilstede fra rundt 07:00 til rett over klokken seks på kvelden.

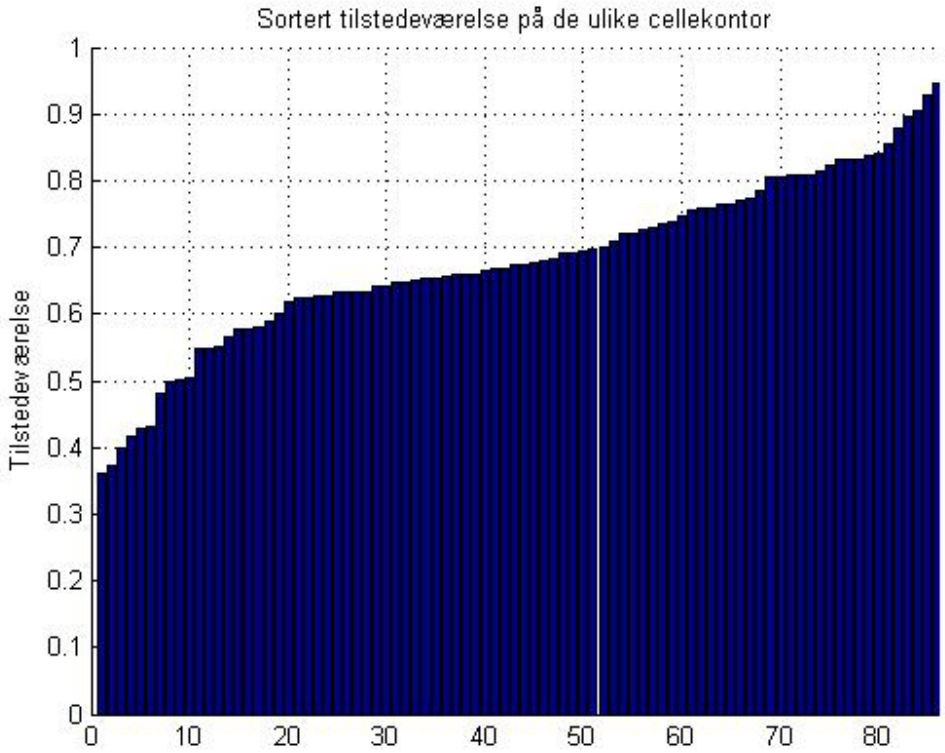
Den maksimale tilstedeværelsen på bygget er over 85 % mellom 09:00 og 16:00. Dette betyr at 73 av 86 cellekontor er i bruk i denne perioden. Graf for maksimal tilstedeværelse viser også at bruksområdet kan holde tilstedeværelse over 20 % til klokken 20:00 på kvelden, og en topp på 10 % så sent som halv elleve. I måleperioden har man altså hatt tilfeller der opptil 9 cellekontor er brukt halv elleve om kvelden. Gjennomsnittlig tilstedeværelse viser også at det ikke er uvanlig at enkelte brukere er på kontoret så sent.

Ved logging av tilstedeværelse vil man normalt få en senkning i tilstedeværelsen der man normalt tar lunch. Ingen av grafene i Figur 4-3 viser tendens til senkning i denne perioden. Dette kan ha sammenheng med plassering og deteksjonsområde til tilstedeværelsessensoren. Hvis sensoren detekterer at en person går forbi et tomt kontor med døren åpen, vil ventilasjon og lys aktiviseres for 20 minutter. I tillegg vil tidsforsinkelsen på 20 minutter bidra til en utflating sammen med variasjonen i lunchrutinene.

4.2.1. Tilstedeværelse og driftstid

I figur Figur 4-4 er tilstedeværelse for hver av de 86 cellekontorene presentert og sortert etter stigende tilstedeværelse.

Et tradisjonelt totrinns CAV-anlegg vil ofte anta arbeidstid mellom 08:00 og 16:00. Normalt vil man starte anlegget litt før samt gjerne holde anlegget i drift litt over normal arbeidstid. Under vises tilstedeværelsen for cellekontorene med driftstid fra 07:00 til 17:00. Gjennomsnittlig tilstedeværelse for Figur 4-4 er 62,4 %.



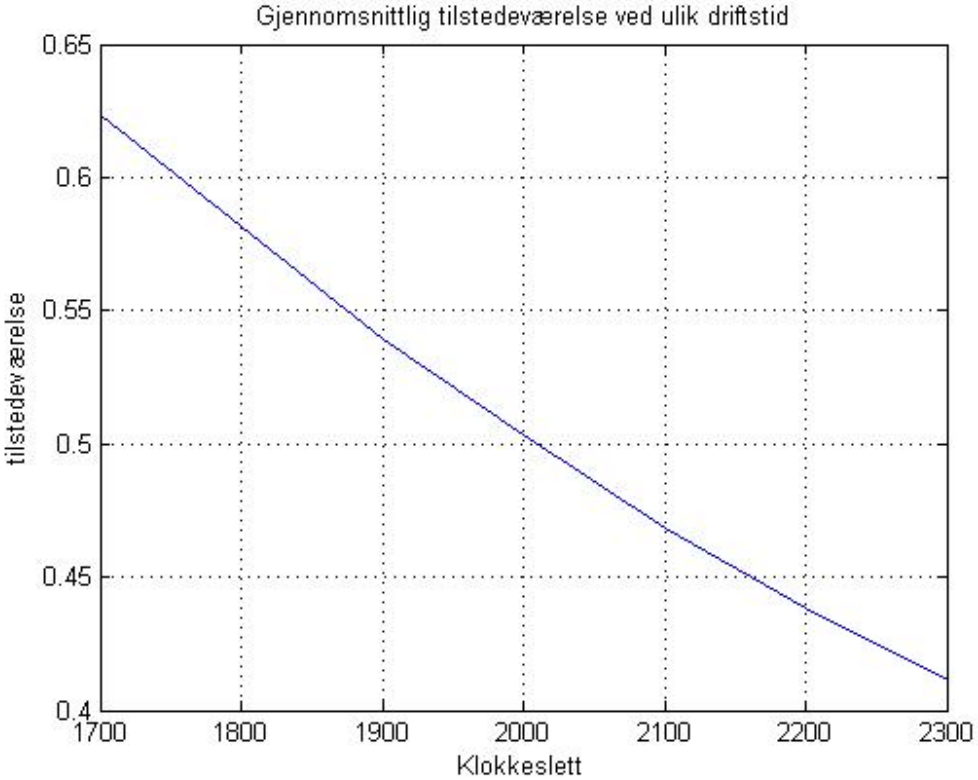
Figur 4-4, sortert gjennomsnittlig tilstedeværelse på 86 cellekontor på Gassco

Tilstedeværelsesprosenten vil som nevnt tidligere være avgjørende for potensialet for energibesparelse ved konvertering fra CAV til DCV. Driftstid er et viktig poeng som ikke har fått nok oppmerksomhet i den forbindelse. Hvis man ser på Figur 4-3 synes det å være naturlig med en driftstid fra 07:00 til 21:00 for et totrinns CAV-anlegg med tilsvarende tilstedeværelse (\35\). Redusert ventilasjon i øvrig tidsrom antas å dekke kun materialbelastningen til bygningen. Man vil da få dårligere luftkvalitet etter klokken 21:00, men siden få brukere er på kontoret da vil ”skaden” bli liten.

En driftstid fra 07:00 til 21:00 betyr at anlegget går for fullt i fjorten timer hver dag, noe som tilsvarer en tilstedeværelse i driftstiden på 46,9 %. Hvis man øker denne driftstiden

vil følgelig gjennomsnittlig tilstedeværelse synke, og hvis man senker driftstiden vil tilstedeværelsen øke.

I Figur 4-5 er gjennomsnittlig tilstedeværelse ved forskjellige driftstider beregnet. Starttidspunktet for alle drifttidene er 07:00 om morgenen. Som man ser synker tilstedeværelsesraten med cirka 4 % for hver time driftsområdet økes med. Det påpekes at denne kurven gjelder for bruksmønsteret ved Gassco. Man vil ha samme effekt for andre bygg også, men stigningstallet vil ha andre verdier. Stigningstallet vil være avhengig av hvor stor del av brukerne som arbeider ut over en normal arbeidsdag.



Figur 4-5, gjennomsnittlig tilstedeværelse i forhold til driftstid

Tilstedeværelse, cellekontor

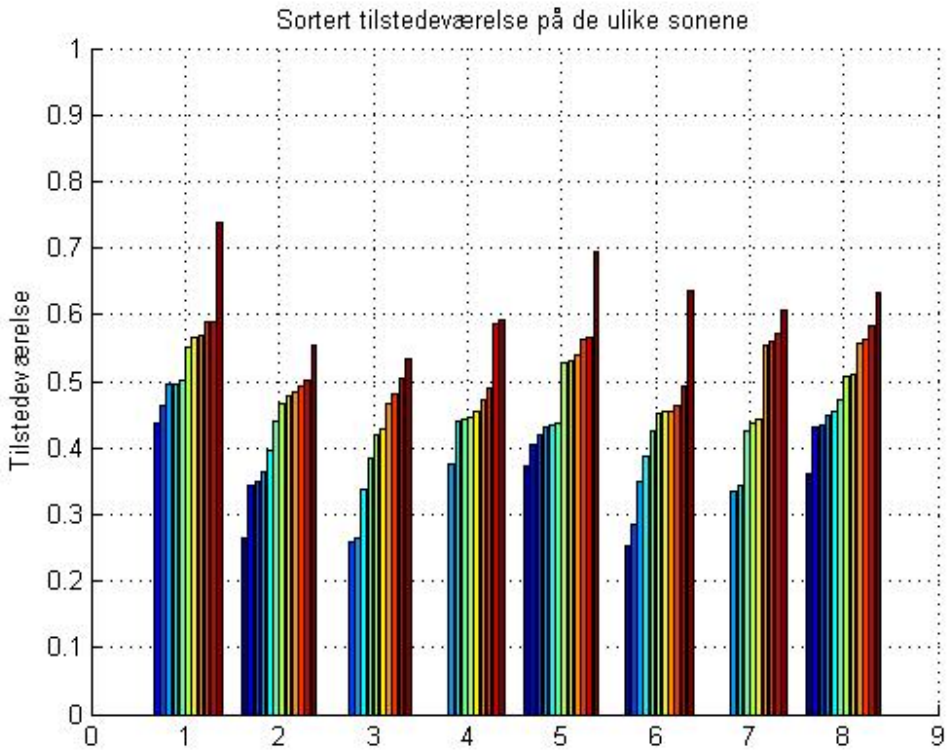
Hvis man antar driftstid mellom 07:00 og 21:00 får man en gjennomsnittlig tilstedeværelse på 46,9 % for cellekontorene. Laveste gjennomsnittlig tilstedeværelse for et enkelt kontor med denne driftstiden blir 25,4 %, altså cirka 3,5 timer per dag. Høyeste gjennomsnittlige verdi for et enkelt cellekontor med samme driftstid er 73,8 % eller 10 timer og 20 min (se Figur 4-4).

På grunn av personvernloven ble ikke målingene identifisert med det faktiske romnummeret (se punkt 4.1.4). Cellekontorene ble i stedet delt inn i åtte ulike soner. Figur 4-6 viser gjennomsnittlig tilstedeværelse for de enkelte cellekontorene, fordelt på tilhørende soner (se vedlegg A for inndeling av soner). Driftstiden for Figur 4-6 er 07:00

til 21:00. Gjennomsnittlig tilstedeværelse per cellekontor fordelt på soner er vist i Tabell 4-2. (driftstid 07:00 til 21:00).

Sone	Total gjennomsnittlig tilstedeværelse (%)	Sone	Total gjennomsnittlig tilstedeværelse (%)
1	54,5	5	49,3
2	42,8	6	42,3
3	40,8	7	47,5
4	47,8	8	49,6

Tabell 4-2, gjennomsnittlig tilstedeværelse fordelt på soner.



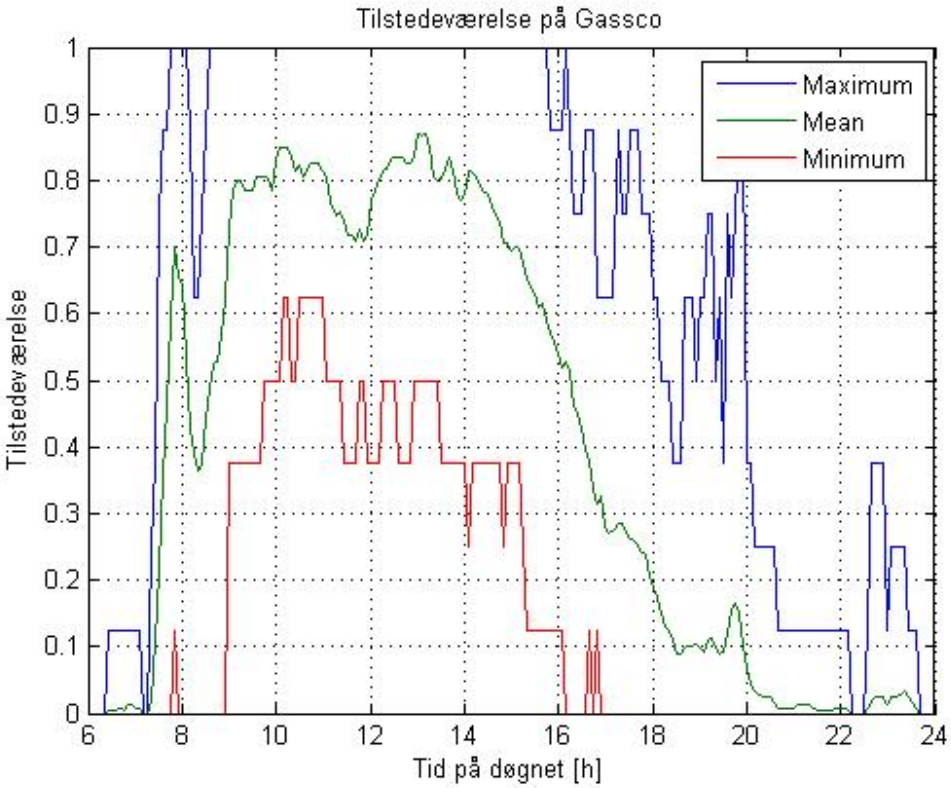
Figur 4-6, gjennomsnittlig tilstedeværelse fordelt på soner (driftstid 07:00 til 21:00)

Figur 4-6 viser at noen soner har en svært høyt tilstedeværelse selv med driftstid fra 07:00 til 21:00. Dette kan ha sammenheng med noen grupperom som er med i datagrunnlaget. Rom nummer 139, 342 og 316 på bygget har henholdsvis to, tre og fire brukere på samme rom. Dette vil føre til høyere gjennomsnittlig tilstedeværelse for soner med disse kontorene. Dette vil være en feilkilde som påvirker resultatene, og man har ingen mulighet til å ta ut disse rommene fra datagrunnlaget. Rom 139 hører til sone 1, mens rom 342 og 316 hører til henholdsvis sone 6 og 8. Man har imidlertid ingen mulighet for å vite om disse rommene er de som faktisk har så stor tilstedeværelse. Øvrige rom som er klassifisert som grupperom på plantegningene, brukes som cellekontor.

Tilstedeværelse på møterommene

Figur 4-7 viser tilstedeværelsen på møterommene presentert på samme måte som Figur 4-3. Møterom brukes ofte av flere personer. Tilstedeværelsesdataene fra møterommene registrerer kun om det er personer der eller ikke. Dataene i Figur 4-7 gir derfor et bilde av bruken av møterommene, men ikke hvor mange personer som er tilstede.

Maksimal og minimal tilstedeværelse i Figur 4-7 er noe hakkete siden man kun har åtte møterom.



Figur 4-7, tilstedeværelse for møterom på Gassco

Møterommene synes å være i bruk fra halv sju til rett før tolv på kvelden. Som man ser er tilstedeværelsen på møterommene høyest fra rundt 09:00 til 15:00, med en verdi over 70 % i gjennomsnitt. I dette tidsrommet har man også tilfeller der alle møterommene er i bruk (se maksimal tilstedeværelse). Klokken åtte er tilstedeværelsen oppe på 70 %, men den faller til cirka 38 % rundt halv ni. Dette kan forklares med morgenmøter eller lignende. Etter klokken 20:00 er bruken av disse møterommene begrenset.

På grunnlag av Figur 4-7 er det rimelig å anta at en driftstid fra 07:00 til 21:00 også vil være aktuell hvis møterommene hadde hatt konstant luftmengde (CAV). I Tabell 4-3 presenteres gjennomsnittlig tilstedeværelse for de ulike møterommene med to ulike målingsintervall.

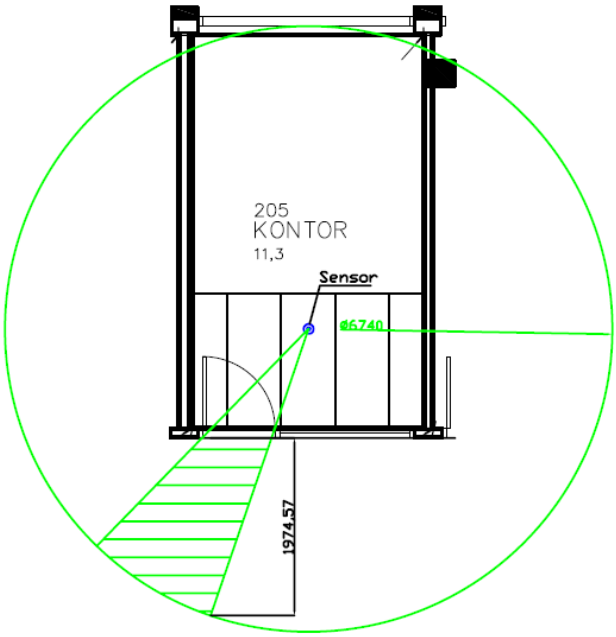
Møterom nr.	Gjennomsnittlig tilstedeværelse med måling fra 0700 til 2100	Gjennomsnittlig tilstedeværelse med måling fra 0800 til 1500
124	51,8 %	72,4 %
201	44,6 %	68,8 %
231	52,7 %	81,3 %
237	50,0 %	76,1 %
301	58,6 %	81,9 %
331	63,3 %	87,5 %
336	38,5 %	61,5 %
353	44,9 %	69,2 %
Gjennomsnitt	50,6 %	74,5 %

Tabell 4-3, gjennomsnittlig tilstedeværelse på møterom ved to ulike driftstider.

Som man ser i tabellen over brukes møterommene mellom 61 og 87 % av tiden mellom klokken 08:00 og 15:00. For å sammenligne anlegget med et CAV-anlegg, bør man imidlertid øke driftstiden slik at anlegget dekker det reelle behovet. En driftstid mellom 07:00 og 21:00 gir en gjennomsnittlig tilstedeværelse på 50,6 % for møterommene.

4.2.2. Sensorplassering

Som nevnt vil tidsforsinkelsen på målingene bidra til en økning i tilstedeværelsen. Sensorvalg og plassering kan imidlertid også spille inn på målingene. Sensorene som brukes i bygget kalles PIR-TF-25-360 (se vedlegg G) og registrerer bevegelse i 360 grader som vist i figuren under. Sensoren er ifølge Sømme (\30\) den samme som Swegon (\24\) kaller KSO 360. Siden sensoren registrerer bevegelse i 360 grader vil det være en fare for at sensoren detekterer bevegelse utenfor en åpen dør. Med en installeringshøyde på 2,4 m opplyses sensoren å registrere bevegelse i en diameter på 6 m. På Gassco er takhøyden på cellekontorene 2,7m noe som gir en registreringsdiameter på 6,75 m. På kontoret er det en karm over døren på 30 cm, men denne forstyrrer ikke deteksjonsfeltet fra sensoren ut døren. Sensoren er plassert i senter av rommet cirka 1,1 m ± 0,1m fra innerveggen med dør. Som vist på Figur 4-8 kan sensoren registrere bevegelser så langt som 2 meter utenfor en åpen dør.



Figur 4-8, teoretisk deteksjon ut kontordør som følge av sensortype.

Gangbredden på Gassco ved cellekontorene ligger rundt 1,5 m, så sensoren vil i teorien registrere bevegelse hvis en person går forbi et kontor med åpen dør. En begrenset undersøkelse gjort på bygget viste at sensoren registrerer bevegelse opp til 1,2 meter fra døren. Dette kan tyde på at deteksjonsevnen blir svakere ved stor avstand fra sensoren, men dette må undersøkes nærmere.

Det er liten tvil om at sensoren registrerer bevegelse utenfor kontoret hvis døren står åpen. Dette vil derfor være en feilkilde i tilstedeværelsesdataene fra kontorbygget. Branninstruksene for bygget sier imidlertid at dørene skal være lukket når brukeren ikke er tilstede, og det antas at dette stemmer i de fleste tilfeller.

4.3. Reguleringsfunksjonalitet

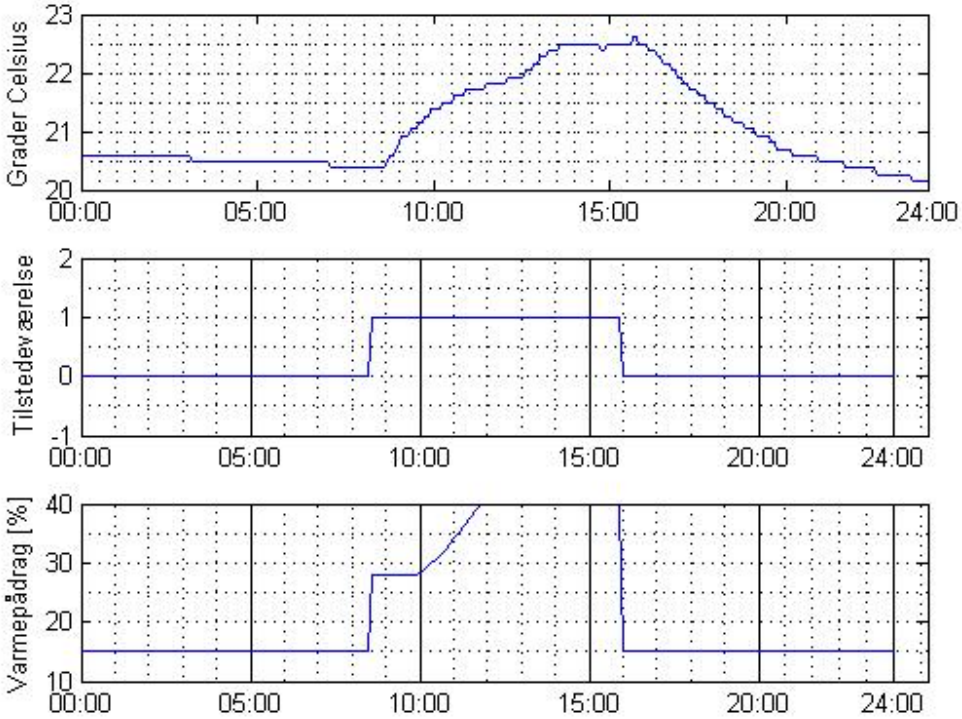
I tillegg til tilstedeværelse ble deler av reguleringen på Gassco logget. Data fra reguleringen kan sammenlignes med tilstedeværelsen og gi et bedre bilde på funksjonaliteten til valgte reguleringsprinsipp. Man kan også se om gjeldende grenseverdier gir tilfredsstillende temperaturer.

4.3.1. Cellekontor

Ni kontorer i andre etasje, alle med vindu i vestre fasade ble valgt ut til logging av reguleringsdata. Hvert kontor er mellom 11,1 og 11,4 m² stort. Vindusflaten på cellekontorene er normalt rundt 2,8 m². Det ble logget temperatur og varmepådrag på de enkelte cellekontor i tillegg til utetemperatur. Tidsskrittet for målingene er fem minutter. Fasaden har også automatisk solavskjerming som blir styrt av strålingsintensiteten.

Siden reguleringen varierer med tilstedeværelsen er det ikke hensiktsmessig å regne gjennomsnittsverdier på samme måte som for tilstedeværelsesdataene. Man må i stedet se på de enkelte dagene, og analysere disse (reguleringsprinsippet er forklart i punkt 4.1.3).

Under vises reguleringsdata fra cellekontor nummer 6, 9.2.2007.



Figur 4-9, reguleringsdata fra cellekontor nummer 6, 9.2.2007. (Legg merke til at øverste graf er litt forskjøvet i forhold til klokkeslett)

Som man ser i Figur 4-9, ser det ut som reguleringen fungerer bra med to temperaturkrav. Personen kommer på kontoret rundt klokken halv ni og da endrer tilstedeværelsessensoren temperaturkravet fra 18 ºC til normalt 23 ºC (øvre settpunkt kan stilles individuelt). Temperaturen på kontoret er nå cirka 20,4 ºC så radiatoren øker da varmepådraget for å heve temperaturen opp mot det nye settpunktet. Som man ser av figuren økes varmepådraget først til et nivå, og stiger gradvis til et høyere nivå hvis ikke ønsket temperatur er oppnådd. Dette reguleringsprinsippet er sannsynligvis ment å hindre svingninger i systemet. Når personen forlater kontoret klokken fire, er temperaturen cirka 22,5 ºC. Nå endres imidlertid temperaturkravet til 18 ºC igjen og dermed strupes radiatorventilen igjen og temperaturen synker.

Temperaturreguleringen fungerer som en slags lokal nattkjøling der nedre temperaturnivå som tolereres styrer besparelsen. Man utnytter temperaturlagring lokalt i bygget uten å risikere for store temperatursvingninger. Man får dermed en kontrollert senkning av temperaturen innefor kontrollerbare rammer. De åpenbare faremomentene her vil være tidsrommet fra personen kommer inn på cellekontoret til ønsket temperatur oppnås. Inneholder rommet mye betong vil temperaturen stige sakte på grunn av høy varmelagringskapasitet. I kombinasjon med et lengre frafall (for eksempel over en helg) kan temperaturen falle mye og oppvarmingen av rommet vil ta lang tid. Dette gjør samtidig at rommet vil holde temperaturen oppe over lengre tid.

Intermittent oppvarming på et lokalt punkt som et cellekontor er avhengig av mange faktorer og derfor vanskelig å forutse med enkle programmer. I den sammenheng er det interessant å se på hvor store maksimums og minimumsverdiene for temperaturen i målingsperioden er. I Tabell 4-4 er maksimal og minimal temperatur for de ulike cellekontorene presentert sammen med dato når temperaturen ble oppnådd. Høyeste og laveste temperatur er funnet uavhengig av tilstedeværelse.

Cellekontor	**Største temperatur**		**Minste temperatur**	
(fiktivt romnr)	ºC	Dato	ºC	Dato
1	22,55	2.3.07	19,86	26.2.07 (man)
2	23	6.2.07	21,21	5.2.07 (man)
3	23,22	15.2.07	20,31	5.2.07 (man)
4	23,84	14.3.07	19,47	11.2.07 (søn)
5	23,11	2.3.07	19,42	10.2.07 (lør)
6	23,17	9.3.07	19,58	11.2.07 (søn)
7	23,22	1.3.07	19,98	19.3.07 (man)
8	23	7.3.07	19,53	11.2.07 (søn)
9	22,83	7.3.07	20,59	5.2.07 (man)

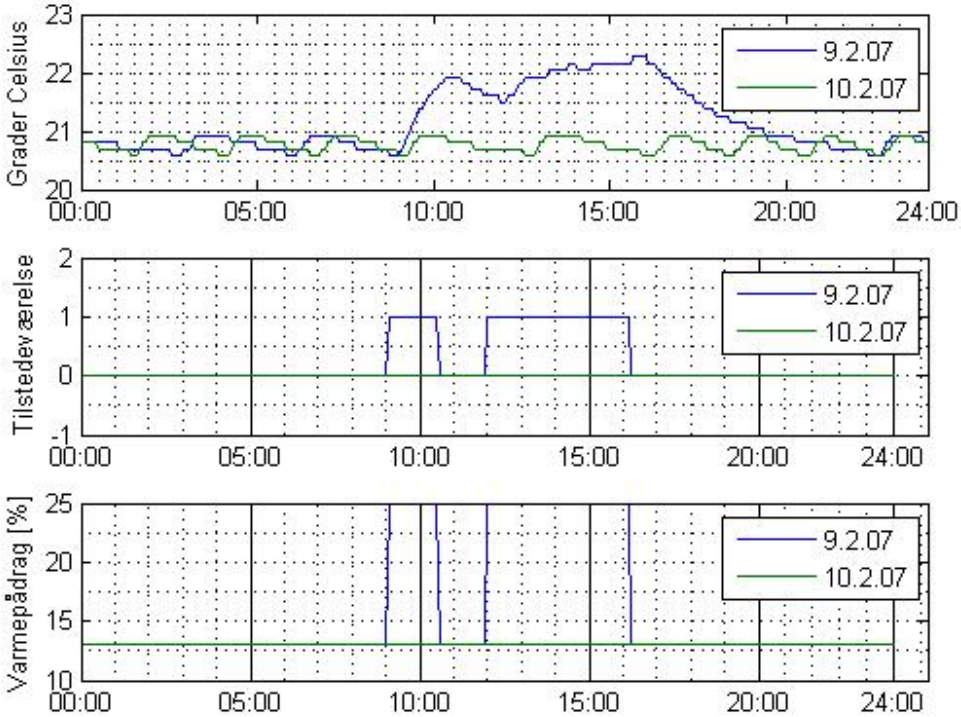
Tabell 4-4, maksimums og minimumstemperatur registrert på cellekontorene.

Som man ser i tabellen over er temperaturvariasjonene i målingsperioden svært små. Laveste registrerte temperatur er 19,42 ºC på cellekontor nummer 5 den 10.2.07. Dette er eneste lørdag som er kommet med i oversikten over minste temperatur. De øvrige rommene har laveste temperatur på en søndag eller mandag. Dette er naturlig da brukerne

normalt ikke er på kontoret i helgen. Varmetilskuddet vil dermed stå på minimum over helgen, og temperaturen vil normalt synke.

Maksimal og minimal temperatur på cellekontorene i loggeperioden må sies å være tilfredsstillende. Temperaturvariasjonen over døgnet varierer med kun noen få grader, selv med redusert varmetilførsel når personen ikke er på kontoret.

I Figur 4-10 er cellekontor nummer 9 plottet 9.2.2007 (blå kurve) og 10.2.2007 (grønn kurve). Som man ser er brukeren borte fra kontoret hele lørdagen, men temperaturen holder seg rundt 20,8 ºC. Fredagen kommer brukeren på kontoret klokken ni og går igjen rundt klokken 10:30. Varmepådraget blir da strupt, og når brukeren kommer tilbake klokken 11:30 er temperaturen rimelig lik det den var når han gikk. Som man ser på figuren økte temperaturen rundt en halv grad etter han gikk ut, men så faller temperaturen igjen. Dette kan komme av at ventilasjonen reduseres som følge av at brukeren ikke er tilstede. Ventilasjonsluften holder undertemperatur i forhold til rommet (19 ºC) og vil dermed kjøle rommet når personen er der. Selv om radiatorene strupes ned samtidig som ventilasjonen, vil treghet i radiatormassen gjøre at temperaturen stiger noe etter personen har gått. Strupning av kjølig ventilasjonsluft og soltilskudd vil også bidra til å øke temperaturen i rommet etter at brukeren har gått.



Figur 4-10, regulering, cellekontor nummer 9, 9-10 februar 2007

Selv om nedre settpunkt på romtemperaturen er 18 ºC viser loggene at man aldri kommer ned på dette nivået i måleperioden. Forklaringen på dette kan være at nedre nivå på radiatoren er mellom 7 og 15 % åpningsgrad. I rom 9 som er vist i Figur 4-10 over er

nedre nivå cirka 12,5 %. Dermed vil man alltid ha en viss tilførsel av varme til rommet. Som man ser i Figur 4-10 økes radiatorpådraget til 25 % ved tilstedeværelse. Temperaturen stiger ganske raskt med dette pådraget og dette kan antyde at det nedre nivået tilfører en signifikant varmemengde. På den måten får man balanse mellom varmetap og varmetilførsel, og temperaturen på cellekontoret opprettholdes. Hvis det nedre nivået på reguleringen ikke er null i sommerhalvåret vil dette bidra sterkt til å øke kjølebehovet.

Temperaturkurven vist i figur 4-10 ser ut til å stabilisere seg på 22 ºC selv om pådraget ikke reduseres. Dette kan bety at man har balanse mellom varmetap og varmetilskudd. En annen årsak til dette kan være at varmetilførselen kompenseres med økt ventilasjon. For å undersøke dette er det nødvendig å vite hvilke temperaturinnstilling som brukes på kontoret samt loggdata av tilførsel av luft.

4.3.2. Møterom

Største og minste verdi fra utvalgte reguleringsdata fra de tre møterommene er vist i tabell 4-5. Som man ser er laveste registrerte CO_2-verdier (ppm) i målingsperioden svært høye. Dette tyder på at CO_2-sensorene ikke er kalibrert. For høye CO_2-verdier gir økt luftmengde i perioder der det ikke er nødvendig. Visualisering av dataene over bestemte dager viser også at selve reguleringen ikke fungerer slik den skal. Det synes å være lite sammenheng mellom luftmengde og CO_2-nivå (se vedlegg C). Dette betyr at luftmengden ikke nødvendigvis tilføres når det er behov.

Møterom nr	**Høyest temperatur**		**Lavest temperatur**		**Høyest CO_2-nivå**		**Lavest CO_2-nivå**		**Høyest luftmengde**		**Lavest luftmengde**	
	ºC	Dato	ºC	Dato	ppm	Dato	ppm	Dato	l/s	Dato	l/s	Dato
124	23,28	10	18,86	19	943	30	690	29	189	15	63	18
201	22,55	14	17,52	19	873	14	662	4	197	38	63	4
231	25,31	9	20,48	43	921	9	765	43	226	16	134	43

Tabell 4-5, maksimums og minimumsverdier for ulike målte parametere i møterom.

Som man ser i Tabell 4-5 er temperaturdifferansen mellom høyeste og laveste målte temperatur mye større på møterommene enn på cellekontorene (se Tabell 4-4). Dette har mest sannsynlig sammenheng med uregelmessig lufttilførsel.

Grunnet feilaktige CO_2-verdier fra sensorene vil ikke dataene fra møterommene analyseres nærmere. Feil på en så sentral sensor forplanter seg i hele reguleringssystemet til rommet, og det blir derfor vanskelig å trekke ut interessante observasjoner. Det ser allikevel ut som at temperaturreguleringen fungerer som den skal, men dette må verifiseres etter utskifting eller kalibrering av CO_2-sensoren.

Ifølge driftspersonell på bygget har det vært en del klager på byggets møterom, spesielt på for høy temperatur. Selv om temperaturen ikke er veldig høy i måleperioden vil den sannsynligvis bli verre under sommerforhold.

4.4. Energi og effektforbruk

Gjennom tilstedeværelses- og reguleringsdata er det nå dannet et bilde av DCV-anlegget på Gassco. Tilstedeværelsen viser at man har høy tilstedeværelse i kjernetiden mellom 08:00 og 16:00 (rundt 70 %). Den viser også at man har spredning i bruken, og mange brukere kommer tidlig og/eller drar sent. Et DCV-anlegg passer bra til slik spredning i bruken av bygget. Tidligere tilstedeværelsesanalyser i kontorbygg har vist at gjennomsnittlig tilstedeværelse over en måned er en grei tilnærming for gjennomsnittlig tilstedeværelse over året (\34\).

De viktigste parametrene som spiller inn på økonomien til et behovsstyrt anlegg vil være (\1\);

- Investeringskostnader
- Sparte driftskostnader

Hvor mye driftskostnadene reduseres, vil være avhengig av;

- Bruksmønsteret
- Kontrollstrategien
- Klima
- Energipris

Ventilasjonsanlegget på Gassco brukes til kjøling. Bygget har dermed et kjølebehov, men også en mulighet til å kontrollere det termiske inneklimaet i bygget. På grunn av denne strategien vil energibesparelsen bli mindre om sommeren når utetemperatur og solinnstråling gjør at temperaturen i bygget stiger, såfremt et sammenlignbart CAV-anlegg tolererer større temperatursvingninger (se kapittel 3.3.1). Man kan også risikere økt energiforbruk i deler av bygget med høyt internt varmetilskudd fra utstyr. Investeringskostnadene vil også øke på grunn av det økte kapasitetsbehovet for ventilasjonsanlegget. Gassco har utvendig solavskjerming, og kjølebehovet reduseres derfor noe. Et CAV-anlegg med tilsvarende fleksibilitet måtte installert separat kjøling i hele bygget og dermed ville investerings- og driftskostnader økt. I praksis ville nok dette blitt begrenset til de deler som har behov for kjøling. Hvis man antar at CAV-anlegget har like god termisk kontroll, vil de overnevnte forhold ikke ha noe å si på forskjellen mellom CAV og DCV.

Bygget bruker tilstedeværelsessensorer til å endre temperaturkrav på cellekontor når brukeren ikke er tilstede. Dette gjør at varmebehovet og luftmengden reduseres, og man sparer energi. Eventuell varmelagring i konstruksjonen vil også utnyttes med denne strategien. Om sommeren har man begrenset oppvarmingsbehov. Redusert temperaturkrav og ventilasjon vil dermed kunne øke kjølebehovet. Dette kan skje ved at personen kommer sent på kontoret. Temperaturkravet har da vært 18 ºC i en periode med høyt soltilskudd og ingen kompensering for økende temperatur. Når personen kommer vil anlegget måtte kjøre med kjøling for å redusere temperaturen igjen. På den annen side kan en slik strategi redusere kjølebehovet. Hvis personen kommer tidlig og går midt på dagen, vil et redusert temperaturkrav hindre at anlegget kjøler rommet ned igjen.

Varmelagring i konstruksjonen kan også ha en kjølende effekt der temperaturen blir lavere enn forventet grunnet styringsstrategien.

Som man skjønner medfører styringsstrategien en kompleks sammensetning av energiforbruket i bygget, og bruk av simuleringer for estimering er vanskelig. Man kan allikevel sammenligne bruksmønsteret med andre rapporter om DCV og dermed få indikasjoner på hvordan energiforbruket blir. Enkle beregningsprogram kan også gi en pekepinn på hvordan energiforbruket blir.

4.4.1. Cellekontor

Det er faktorer som trekker logget tilstedeværelse på Gassco opp;

- 20 minutts tidsforsinkelse i målingene
- Mulighet for utløsing av sensor gjennom åpen dør til uokkupert kontor
- Noen få cellekontor brukes av flere personer

Tilstedeværelsesdataene fra Gassco viser derfor en høyere tilstedeværelse enn hva som faktisk er tilfelle. Denne tilstedeværelsen er imidlertid den som det tekniske anlegget styres etter, og den danner dermed grunnlaget for hva som kan spares inn på driftskostnader.

Mysen et. al(\22\) beregner lønnsom investeringskostnad ved konvertering fra CAV til DCV ut ifra tilstedeværelse. Med en driftstid fra 0700 til 2100 vil tilstedeværelsen på Gassco være ca 47 % i gjennomsnitt. Ifølge Mysen et. al (\22\) vil dette gjøre en investeringskostnad på 320 € (cirka 2600 NOK[1])per cellekontor lønnsom. Denne verdien er beregnet ut ifra reduserte driftskostnader. Tar man med besparelse på grunn av installasjonskostnader, samt arealkostnader vil mulig investeringskostnad stige til rundt 430 € (cirka 3500NOK). Reduksjon av teknisk rom og kapasitet på anlegget vil imidlertid redusere tilpasningsdyktigheten til anlegget.

Dataprogrammet Energi i bygninger (EiB, versjon 3.65) har mulighet for VAV-innstillinger, men man kan ikke legge inn detaljert bruksmønster ut over driftstiden. Beregningene kan allikevel gi en pekepinn på hvordan energiforbruket blir. Det ble derfor laget to prosjektfiler i EiB med utgangspunkt i et enkelt cellekontor med én yttervegg. Dette er en grei tilnærming da cellekontor med ”flere” yttervegger er større cellekontor, mens de rundt 11 m² kun har en vegg i fasaden. For enkelhets skyld antas en tilstedeværelse på 50 % med en driftstid mellom 07:00 og 21:00.

Rommet har samme utforming som vist i Figur 4-8 og har et grunnareal på 11,44 m². Rommet ble bygget opp likt for begge prosjektfilene, men med ulikt ventilasjonssystem. Det ene ventilasjonssystemet ble forsøkt tilnærmet så likt som mulig systemet i eksisterende bygg. Begrensninger i programmet førte til at nedre luftmengde måtte vektes for at VAV-instillinger kunne brukes (se vedlegg D). Det andre ventilasjonssystemet ble

[1] Med 1€ = 8,16 NOK

bygd opp ut ifra hvordan et tenkt CAV-system ville sett ut i rommet. For CAV-anlegget er det antatt at radiatorene har individuelle termostater som ikke kan reguleres sentralt. Det er dermed antatt at CAV-systemet ikke har mulighet for nattsenkning. DCV-systemet utnytter imidlertid nattsenkning. I Tabell 4-6 vises de viktigste parametrene som er brukt i simuleringen (øvrige parametere finnes i vedlegg D).

	U-verdi			Verdi	
Yttervegg	0,26	W/m²K	Oppvarmet gulvareal	11,44	m²
Innervegg mot naborom	0,34	W/m²K	Oppvarmet romvolum	30,24	m3
Innevegg mot gang	2	W/m²K	Konstant infiltrasjon	0,3	h-1
Gulv	0,33	W/m²K	Normal tilluftstemperatur	19	C
Tak	0,34	W/m²K	Installert varmeeffekt	333	W
Vindu	1,4	W/m²K	Temp. virkningsgrad, varmegjenvinner	0,65	
Soltransmisjonsfaktor	0,55		Varmefaktor	1	

Tabell 4-6, de viktigste parameterinnstillingene gjort i EiB.

I vedlegg D forklares framgangsmåten for denne simuleringen i detalj.

Tabell 4-7 viser resultatet av simuleringen.

Netto energibehov [kWh]

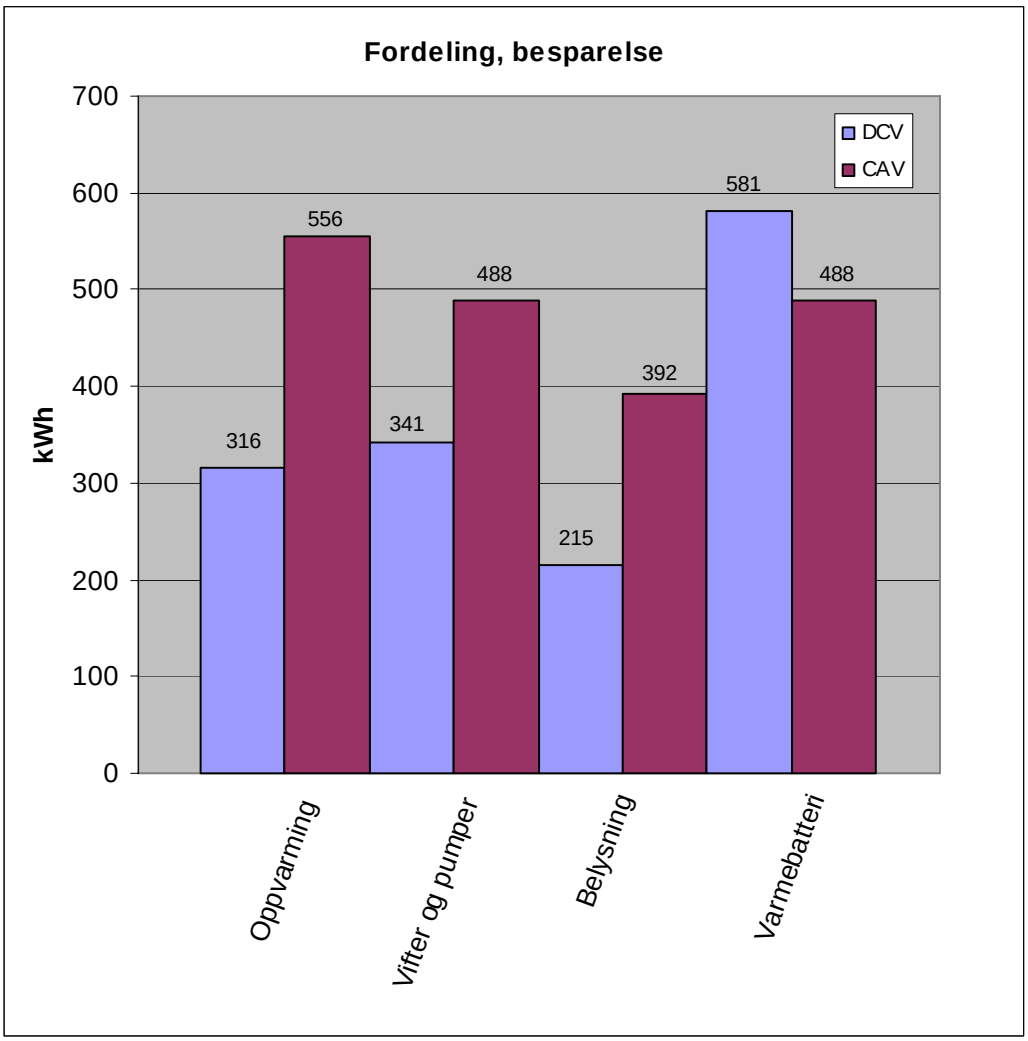
	Retning	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
DCV	Øst	216	200	196	139	85	68	41	65	78	124	170	201
CAV	Øst	296	264	249	173	104	92	53	93	100	157	217	268
Besparelse		80	64	53	34	19	24	12	28	22	33	47	67
DCV	Vest	216	200	198	140	86	68	41	65	78	124	170	201
CAV		296	264	248	172	103	92	53	93	100	156	217	268
Besparelse		80	64	50	32	17	24	12	28	22	32	47	67
DCV	Nordøst	216	200	200	143	89	69	42	66	81	126	171	202
CAV		296	267	254	179	107	92	53	93	102	159	218	268
Besparelse		80	67	54	36	18	23	11	27	21	33	47	66
DCV	Sørøst	215	197	191	136	84	68	41	65	75	121	169	201
CAV		294	259	241	168	103	92	53	93	98	152	216	267
Besparelse		79	62	50	32	19	24	12	28	23	31	47	66

Tabell 4-7, netto energibehov for DCV- og CAV-system ved simulering av cellekontor i ulike himmelretninger.

Gjennomsnittlig energiforbruk for simulert cellekontor med totrinns CAV-ventilasjon ble rundt 188 kWh/ m². Simulert VAV-system fikk et gjennomsnittlig forbruk på cirka 144 kWh/m². Som man i tabellen varierer energiforbruket lite i forhold til retningen på cellekontoret. Den automatiske solavskjermingen vil begrense slike forskjeller.

Simuleringen viser at gjennomsnittlig besparelse vil være cirka 23,2 % per cellekontor med en tilstedeværelse på 50 %.

Fordelingen på besparelsen for kontor med fasade mot vest er presentert i Figur 4-11.



Figur 4-11, besparelse for cellekontor med fasade mot vest fordelt på berørte komponenter.

Som man ser utgjør antagelsen om ingen nattkjøling for CAV-anlegget en stor del av total besparelse (cirka 50 %). Varmebatteriet for DCV anlegget bruker faktisk mer energi enn for CAV-anlegget. Dette antas å komme av tilnærmingene som er gjort i forbindelse med luftmengder. Nedre luftmengde for VAV-systemet er større enn nedre luftmengde for CAV-systemet. Større temperaturforskjell om natten og høyere luftmengde i VAV-systemet fører derfor til økt bruk av varmebatteri for å heve temperaturen til 19 ºC. En annen årsak kan være lavere temperaturer i rommet for VAV. Dette vil minke varmetilskuddet fra avtrekket til tilluften og dermed øke nødvendig varmetilskudd fra varmebatteri.

Besparelsen i forhold til totalt energiforbruk for cellekontor mot vest fordeler seg som vist i tabellen under (prosentenheter).

	Besparelse i forhold til totalt energiforbruk
Oppvarming	11,5 %
Vifter og pumper	7 %
Belysning	9,5 %
Romkjøling	0 %
Varmebatteri	-4,5 %
Totalt	23 %

Tabell 4-8, oppdelt simulert besparelse i prosentenheter.

Siden man ikke har noen besparelse på romkjøling betyr dette at man ikke har noe kjølebehov.

Besparelsen utgjør cirka 475 kWh spart per år for simulert cellekontor. Nåverdien for investeringen i DCV kan beregnes ut ifra;

$$\text{Nåverdi} = B \cdot \frac{1-(1+r)^{-N}}{r} \qquad (1)$$

Der B = Besparelsen
r = Kalkulasjonsrente
N = Levetid

Hvis man antar en strømpris på 0,5 NOK/ kWh, 5 % kalkulasjonsrente og en levetid på 20 år blir nåverdien for DCV på cellekontoret cirka 3000 NOK. Hvis energiprisen stiger til 0,7 NOK per kWh vil lønnsom investeringskostnad for cellekontoret stige til 4150 NOK. Hvis man bare tar hensyn til besparelsen som følge av redusert vifteeffekt og belysning blir nåverdien cirka 2000 NOK med 0,5 NOK per kWh og 20 års levetid.

Ut ifra kontrakten for automatiseringsanlegget synes prisen på hvert kontor å ligge så vidt under 2400 NOK ferdig installert, da med inkludert vinduskontroll og lysstyring. Ved å ta med automatiseringsutstyr i aggregatet stiger investeringskostnadene til rundt 2900 NOK. Disse ekstrakostnadene vil delvis også være nødvendige i et CAV-anlegg og sammenligningsgrunnlaget blir derfor vanskelig. Simuleringene antyder imidlertid at besparelsen betaler ekstrakostnadene ved DCV-system på cellekontorene, såfremt man sammenligner med et CAV-system uten nattkjøling.

4.4.2. Møterom

Med driftstid mellom 07:00 og 21:00 er bruken av møterommene rundt 50 %. Siden man ikke vet hvor mange som bruker de ulike møterommene når det er i bruk, er det vanskelig å vite hvor stor besparelsen vil bli. Emmerich et. al(\36\) anslår at en tilstedeværelse på 40 % gir energibesparelse på cirka 20-30 %, vel og merke for åpent kontorlandskap. Besparelsen på Gassco's møterom vil komme av at rommet ikke er i bruk i hele

driftstiden sammenlignet med et tilsvarende CAV-anlegg, samt at antall brukere ofte er under dimensjonerende antall.

4.5. FDVU, forvaltning drift vedlikehold og utvikling

Behovsstyrte ventilasjonsanlegg har en del ekstra utfordringer når det gjelder drift og vedlikehold i forhold til anlegg med konstant luftmengde. Systemene som settes opp er ofte komplekse og dermed vanskelige å kontrollere om de fungerer som de skal. Drift og vedlikehold blir derfor en utfordring. Til hjelp for å kontrollere systemet brukes ofte SD-anlegg med visuell visning av systemets tilstand. Typiske verdier vil være temperatur på cellekontor og møterom samt data ved sentrale komponenter i ventilasjonsanlegget. Dette hjelper driftspersonellet til å vurdere om systemet fungerer tilfredsstillende. Man kan også endre mange av innstillingene på anlegget slik at anlegget kan tilpasses bygget etter hvert.

Ut ifra reguleringsdata fra Gassco synes det som CO_2-sensorene burde vært kalibrert eller byttet ut. Tilbakemelding fra brukerne på bygget gir også indikasjoner på at møterommene sliter med å kontrollere det termiske klimaet. Man har lurt på om underdimensjonering i forhold til den faktiske bruken har vært årsaken til det dårlige inneklimaet. Ut ifra reguleringsdataene ser det imidlertid ut som at sensor for CO_2-styring kan være årsaken. Reguleringsfunksjonaliteten til møterommene bør i alle fall verifiseres før andre tiltak settes i verk. Det er vanskelig å si om CO_2-sensoren har hatt problemer over lengre tid eller om den har blitt verre etter hvert. I forhold til SD-anlegg ble det også uttrykt et ønske fra driftspersonalet om mer informasjon om anleggets oppbygning og variabler. Identifisering av problemer med CO_2-sensorer er vanskelig når man ikke vet hva verdiene den produserer utrykker. Det er tydelig at slike sensorer bør overvåkes slik at man vet om systemet fungerer slik det skal.

Når man har et SD-anlegg som enkelt kan brukes til overvåkning bør man inkludere parametere som kan indikere at systemet ikke fungerer. Dette fordi det er vanskelig å vite om systemet vil oppføre seg som tenkt ved ferdigstilling, siden dette påvirkes av både bruksmønster og lokal sensorfunksjonalitet. Sanntidsfigurer som vist i vedlegg C kan være til stor hjelp for driftspersonell for overvåkning av anlegget. Driftspersonell har imidlertid begrenset kunnskap om hvordan et behovsstyrt anlegg skal fungere, spesielt når man snakker om hvordan ulike parametere varierer over døgnet. For å bedre forståelsen er det mulig å ha noen standardfigurer å sammenligne med slik at man vet hvor parametrene skal ligge i visse sammenhenger. Produserte grafer kan da sammenlignes med normfigurer for eksempel på månedsbasis. En enklere løsning vil være å logge parametere for antatt kritiske punkter. For Gassco vil det være naturlig å logge for eksempel CO_2-nivå på møterom. Ved å logge verdi på CO_2-nivå etter at rommet har stått tomt i for eksempel to timer kan man sammenligne disse verdiene med beregnede verdier. En slik logging ville avslørt problemer med CO_2-sensor på Gassco.

Utnyttelse av SD-anlegg synes å være begrenset i dag i forhold til hvilke muligheter dette har, spesielt når det gjelder overvåkning. Anlegget har mulighet til å kontrollere og

variere alle parametere som brukes for klimatisering av bygget. Dette gir store muligheter for å tilpasse det aktuelle anlegget til bygget. Driftspersonellets kunnskaper samt brukervennligheten til SD-anlegget begrenser disse mulighetene, men potensialet for kontroll og tilpasningsdyktighet er veldig stort.

Samtaler med forkjellig driftspersonell for bygninger med DCV antyder at innstillingen til slike anlegg er varierende. Noen er veldig positive og tar feil som en del av utviklingen av anlegget, mens andre skjønner lite av hva som foregår og har relativt liten interesse. Hvis driftspersonalet har en laber innstilling til anlegget vil dette også påvirke driften. Økt kunnskap om hvordan anlegget fungerer kan hjelpe på motivasjonen til driftspersonalet og vil øke sjansene for at feil blir oppdaget og utbedret.

4.6. Diskusjon

I denne delen er tilstedeværelse på et kontorbygg på Karmøy analysert. Reguleringsdata fra deler av bygget ble også analysert. Bygget består av gammel del og ny del der den nye delen er installert med et behovsstyrt ventilasjonsanlegg. Den nye delen består av 86 cellekontor og 8 møterom.

4.6.1. Tilstedeværelse

Cellekontorene på Gassco har en tilstedeværelse på 70-76 % i kjernetiden fra 09:00 til 15:00. Tilsvarende undersøkelser gjort av Mathisen et. al (\37\) på Nordlåna på Røsta og Statens hus i Trondheim har også samme gradvise stigning fram til rundt klokken 09:00. Tilstedeværelsen på Røsta er rundt 35 % fram til klokken 15-15:30 mens Statens hus holder rundt 60-65 % i samme periode (da med lik tidsforsinkelse). Gassco ligger altså litt over tilsvarende undersøkelser på andre bygg. Statens Hus ligger nærmest tilstedeværelsen på Gassco, men fremdeles litt under.

De ansatte på Statens hus er saksbehandlere (\37\), noe som kan forklare den relativt høye tilstedeværelsen. Det er vanskelig å beskrive arbeidsoppgavene til de ansatte på Gassco med få ord. Loggdataene inneholder data fra mange kontor og man vil ha ulikt bruksmønster for ulikt arbeid. Prosjekter og PC-arbeid blir trukket fram av Skorild (\28\) som signifikante arbeidssituasjoner for de ansatte på Gassco. Siden man har relativt lite sammenligningsgrunnlag om tilstedeværelse på kontorbygg i Norge er det vanskelig å konkludere med at tilstedeværelsen er høyere enn normalt. Ytterligere datagrunnlag om emnet er nødvendig for å trekke slike konklusjoner.

Tilstedeværelsen som vises av samlet data fra bygget vil være høyere enn den virkelige siden tidsforsinkelsen er satt til 20 minutter. Dette betyr at pauser under 20 minutter vil falle bort. Halvarsson (\34\) anslår at dette vil øke gjennomsnittlig tilstedeværelsen med 5-10 % i forhold til en tidsforsinkelse på fem minutt på anlegget. Som forklart tidligere ble loggingen startet 31.1.07, men data for analyse ble valgt til å starte 5.2.07. Dette ble gjort som følge av endring i tidsforsinkelsen på målingene. Man har dermed to vanlige arbeidsdager (1.2.07 og 2.2.07) som er logget med en tidsforsinkelse på fem minutter. Analyse av disse to dagene viser at tilstedeværelsen i gjennomsnitt er 65 % mellom klokken 08:00 og 15:00, mens øvrige data viser en gjennomsnittlig tilstedeværelse på 71,4 % i samme tidsrom. Dette antyder at anslaget til Halvarsson (\34\) er rett. Ytterligere data er imidlertid nødvendig siden man har variasjoner over enkelte dager.

Sensorplassering i cellekontorene vil også trekke tilstedeværelsen noe opp. I kapittel ## ble et teoretisk anslag gjort for å illustrere uheldig deteksjon. Faktiske undersøkelser på bygget har også vist samme forhold. Hvor mye denne feilkilden betyr, er vanskelig å anslå. Det finnes krav i byggets branninstruks at dører til cellekontor skal være igjen, men det vil nok være tilfeller når dette ikke blir fulgt. Sannsynligvis vil denne feilkilden vises bedre i data med kortere tidsforsinkelse. Det er enklere å glemme å lukke døren når en bare skal ut av kontoret for en kort periode. Hvis man skal være borte over 20 minutt er

det sannsynligvis større sjanse for at man lukker døren, enn om man skal være borte i fem minutter.

Bygget inneholder en del større kontorer og grupperom. Tre av disse brukes av to eller flere personer. Når det er flere personer som registreres på samme sensor vil disse trekke opp gjennomsnittet. Pauser enkelte har vil falle bort og tilstedeværelsen på rommet vil trekkes ut til når den første kommer og den siste går. På grunn av tilfeldig nummerering av rom innenfor hver sone er det ikke mulig å ta ut disse rommene fra datamengden. Disse rommene er imidlertid kun tre av 86 cellekontor, så en eventuell høyere tilstedeværelse på disse vil ikke ha så mye å si for totalen.

Tilstedeværelsen i møterommene er også høy midt på dagen, men varierer mer. Variasjonene over en gjennomsnittlig dag viser at tilstedeværelsen ikke har noen distinkt form som for cellekontor. Møterommene er mest i bruk før klokken to og synker gradvis etter dette. Etter klokken 20:00 er det sjelden de brukes.

Som nevnt ble bygget delt inn i soner siden man ikke skulle knytte data til spesifikke rom. Soneinndelingen viste at tilstedeværelsen varierer lite innenfor bygget.

4.6.2. Regulering

Reguleringsdata fra cellekontor og møterom ble også logget. Siden reguleringen er avhengig av tilstedeværelse er det vanskelig å ”summere” dataene over større perioder. Man må i stedet se på enkle dager. Reguleringsdata muliggjorde analyse fra ni cellekontor over 41 dager.

Cellekontor

Ut ifra denne datamengden synes reguleringen å fungere som den skulle, i alle fall i forhold til hvilke temperaturer man fikk ved tilstedeværelse. Temperaturendringer når personen var borte fra kontoret synes å være små og responsen fra radiatoren gjør at temperaturen stiger raskt ved tilstedeværelse. Maksimal og minimal temperatur på cellekontoret ble undersøkt og funnet tilfredsstillende. Målingene i loggeperioden viste at temperaturen aldri kom under nedre temperaturkrav (18 ºC). Dette kan tyde på at driftspersonale har stilt på nedre settpunktstemperatur sentralt. Dette ble imidlertid avkreftet av driftspersonale på bygget. En annen forklaring på at temperaturen ikke synker lavere, kan være det nedre settpunktet på radiatorpådraget. Dette er aldri null, men er rundt 7-15 % avhengig av cellekontor. Man vil dermed ha tilførsel av varme selv når ikke personen er tilstede. Radiatorpådraget går også sjelden over 40 % ved tilstedeværelse og dermed kan minimumspådraget være signifikant.

Reguleringen viste en del svingninger i temperaturen når personen ikke er tilstede (se Figur 4-10). Dette antas å komme av svingninger i selve temperaturmåleren som følge av nøyaktigheten. Hvis for eksempel romtemperaturen er 21,05 ºC og temperatursensoren har oppløsning på tiendedeler vil den kunne svinge mellom 21,1 og 21,0 ºC.

Ved å redusere temperaturkravet når rommet ikke er i bruk, kan det være fare for at rommet oppleves som kaldt i starten. De laveste temperaturene i loggeperioden skjedde typisk på en søndag eller mandag morgen. Dette er naturlig da brukerne sjelden jobber i helgen og dermed har man lavt temperaturkrav over en lengre periode. Nest laveste målte temperatur ble registrert tolvte februar på cellekontor nummer 4. I vedlegg C (figur 1) vises grafisk framstilling av reguleringen tolvte og trettende februar. Som man ser ankommer brukeren klokken tolv. Temperaturen har allerede økt til 20 ºC innen brukeren kommer, sannsynligvis på grunn av soltilskudd og mindre varmetap. Ut ifra loggen ser man at temperaturen stiger til 21 grader på én time. Man har imidlertid fått hjelp av ytre kilder siden personen kommer så sent.

Cellekontor 7 har også laveste målte temperatur i loggeperioden den 12.2.2007. Figur 2 i vedlegg C viser grafisk framstilling av denne dagen samt påfølgende dag. Som man ser kommer brukeren klokken 08:00 mandag 13.2.07. Varmetilskudd fra sol bør da være begrenset slik at temperaturen i rommet vil være vanskeligere å heve. Temperaturen når brukeren kommer klokken 08:00 ligger rundt 19,8 ºC, men stiger en grad den første timen.

Operativ temperatur for cellekontor opplyses av prNS 3563 (\13\) til å være 21,5 ºC ±1 ºC på vinterstid. Dager med lavest temperatur bryter så vidt nedre grense for dette kravet når arbeidsdagen begynner. Man kan argumentere for at slike forhold vil føre til dårligere termisk innemiljø, men på grunn av lokal justeringsmulighet anses dette for å være tilfredsstillende.

Det er allikevel vanskelig å si om dette er en god måte å regulere temperaturen i et cellekontor. Man kan risikere at temperaturen synker for lavt, og dermed vil man ha perioder om morgenen der det termiske inneklimaet er dårligere. På en annen side har brukeren mulighet til å regulere temperaturen selv med behovsstyrte anlegg. Dette vil bidra til at man selv kan velge hvor varmt eller kaldt det skal være, noe som også vil spille inn på den psykologiske oppfatningen av inneklimaet. Hvis temperaturen viser seg å bli for lav om morgenen har man også mulighet til å endre nedre temperaturkrav fra SD-anlegget. På den måten har man god kontroll på hvordan det termiske miljøet blir i bygget.

En svakhet med temperaturloggen er muligheten for lokal settpunktsjustering. Det faktiske settpunktet for innetemperaturen er ikke logget. Dermed vil man ha variasjoner ut ifra hvordan hver enkelt person ønsker temperaturen. Hvis en person har stilt på settpunktstemperaturen i måleperioden vil dette slå ut på reguleringen. Det er imidlertid kun det øvre settpunktet som kan varieres av brukeren.

Målet med reguleringsdataene var å se om systemet fungerte tilfredsstillende. Tilgjengelig data fra cellekontorene antyder at systemet fungerer, men gav en del spørsmål angående radiatorpådrag (se punkt 4.1.3). For å få full oversikt over reguleringen på cellekontor bør luftmengde og lokalt settpunkt på temperaturen også inkluderes i analysen.

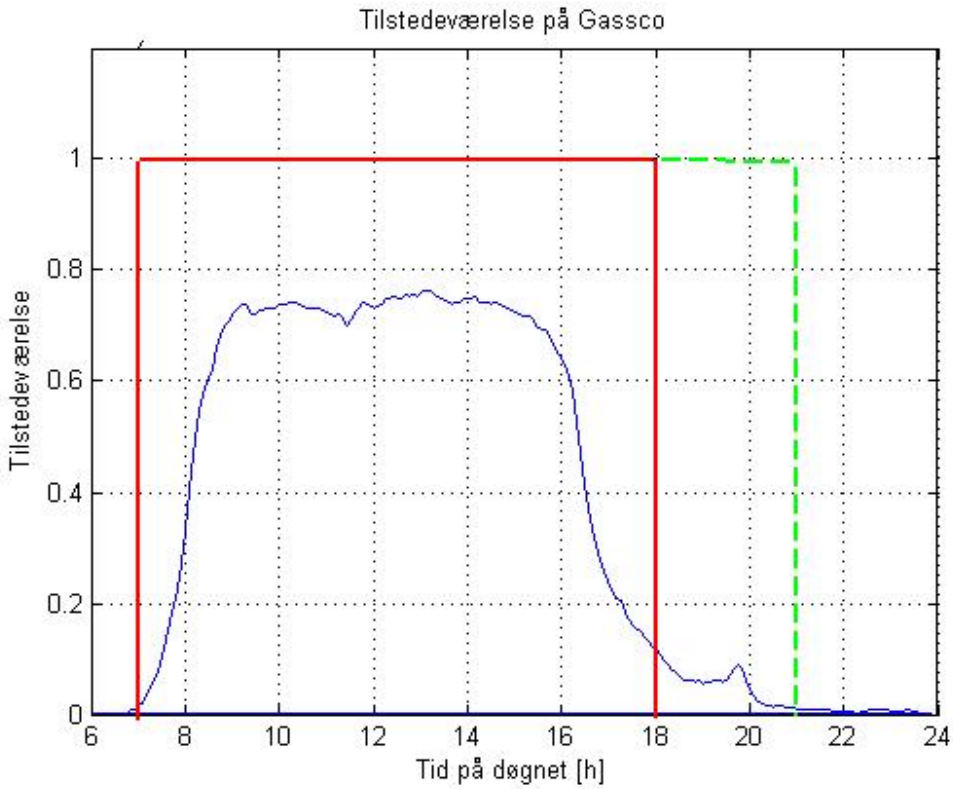
Møterom

For møterommene ble det logget flere parametere, blant annet CO_2-nivå, luftmengde og temperatur. Loggene viste at CO_2-nivå lå langt over normale verdier. Laveste målte verdi over hele loggeperioden var 662 ppm. Normal utenivå for CO_2 ligger mellom 350 og 400 ppm. Variasjonene i CO_2-nivå ved tilstedeværelse var også små og dataene ble derfor vurdert til å ikke være god nok for videre analyse. Tilført luftmengde synes å være skadelidende av CO_2-sensoren sammen med temperaturen i rommet. Det er imidlertid ikke sikkert CO_2-sensoren er det eneste problemet med reguleringen i møterommene, men dette er nok den første som bør byttes eller kalibreres. Øvrige CO_2-sensorer i de andre møterommene samt kantinen bør også sjekkes. En annen årsak til de høye verdiene kan være feil ved selve loggingen.

4.6.3. Energiforbruk

Selv med høy tilstedeværelse midt på dagen tilsier bruksmønsteret at behovsstyrt ventilasjon passer bygget. Loggingen viser at man har tilfeller med opp til 30 % tilstedeværelse så sent som åtte på kvelden. Gjennomsnittlig tilstedeværelse er også over 30 % klokken åtte om morgenen. Man har altså et mer fleksibelt bruksmønster med brukere som kommer tidlig og noen som går sent fra jobb. For å tilpasse seg dette må et CAV-anlegg gå på maks over en lengre periode. Ut ifra bruksmønsteret på Gassco anslås en driftstid mellom 07:00 og 21:00 for å være tilfredsstillende for et anlegg med totrinns ventilasjonsanlegg. Denne driftstiden vil sørge for at de aller fleste brukerne vil få nødvendig luftmengde i henhold til arbeidsmiljøloven (\3\). Økt driftstid som følge av mer variabel og fleksibel arbeidstid fører til at den gjennomsnittlige tilstedeværelsen i driftstiden synker. Økt driftstid for et sammenlignbart CAV-anlegg gjør at lønnsomheten øker med behovsstyrt ventilasjon.

Hvor mye driftstiden skal økes som følge av bruksmønsteret vil være en vurderingssak. Dette må bestemmes ut ifra ønskede mål med anlegget i tillegg til gjeldende krav. En stor økning i driftstiden vil øke potensialet for behovsstyring og bedre inneklimaet i større deler av dagen. I Figur 4-12 illustreres dette i grafen for gjennomsnittlig tilstedeværelse. Arealet mellom tilstedeværelsen og den røde linjen er mulig besparelse hvis driftstiden på et tilsvarende CAV-anlegg er fra 07:00 til 18:00. Økes driftstiden til 21:00 ser man at mulig besparelse øker betraktelig (grønt tillegg).



Figur 4-12, tilstedeværelse og driftstid på Gassco.

4.6.4. EiB

For å finne potensialet for reduksjon i energiforbruk ble et cellekontor simulert i Energi i Bygninger (EiB). Dette programmet har ikke tilstrekkelige variable for å simulere systemet som bygget, men ble antatt å kunne gi veiledende verdier for energiforbruk. For å begrense feilkilder ble et enkelt cellekontor simulert.

Utgangspunktet var systemet som er bygget på Gassco og en CAV-løsning med tilsvarende luftmengder på bygget. Det ble ikke antatt at CAV-anlegget kunne bruke nattkjøling. Denne antagelsen kan diskuteres da dette ikke er en del av behovsstyrt ventilasjon. Antagelsen begrunnes med at man ikke ville lagt opp bussystem kun for radiatorsystemet. Dermed har man vanskelig for å kontrollere romtemperaturen på de ulike rommene og styre radiatoren etter dette. Felles nattkjøling sentralt kunne vært en mulighet, men dette ble ikke tatt hensyn til i beregningene.

Resultatene viser at besparelsen i stor grad ligger på senkning av temperatur etter arbeidstid i tillegg til redusert lys og viftebruk. Systemet reduserer temperaturkravet når personen er borte. Dette vil spare energi også i arbeidstiden, men det simulerte systemet tar ikke tilstrekkelig høyde for dette. Besparelsen her vil være begrenset siden tilstedeværelsen ligger rundt 70 % mellom 0800 og 1600, men vil bidra til redusert energibehov til oppvarming. Om sommeren vil imidlertid dette kunne øke kjølebehovet,

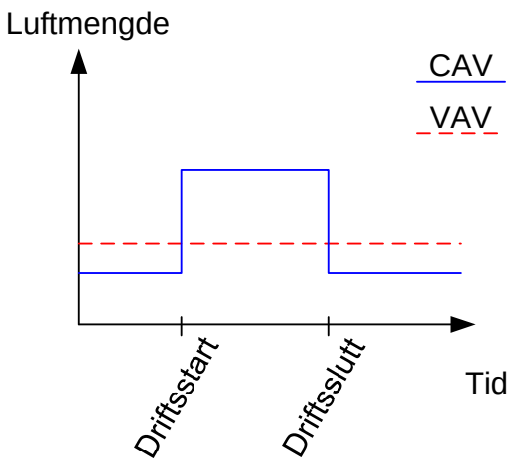
spesielt hvis personen kommer på kontoret sent og et lavt temperatursettpunkt har vært gjeldende over en lengre periode.

Den faktiske reguleringen av radiatorene innebærer i hovedsak to settpunkt. Man har et visst tilskudd selv om personen er borte. Dette gjør at temperatursvingningene i rommet blir mindre. Denne effekten kommer ikke fram i simuleringen og vil bidra til større temperaturfall over døgnet for simulert rom.

Totalt energiforbruk på cellekontoret ble kontrollert mot beregninger ut ifra NS3031. Sammenligningen viste at NS 3031 (\38\) lå på cirka 200 kWh/ m² som er nesten det samme som simuleringens 188 kWh/m². For å oppnå disse resultatene måtte imidlertid veggareal reduseres til ytterveggareal samt at gulv og tak ble satt til null. Dette ble gjort siden man ikke har mulighet til å legge inn grenser mot annen sone med NS 3031. Grunnen til at beregningene fra NS 3031 er høyere enn simuleringen kan komme av det interne varmetilskuddet som ble satt ganske høyt for simuleringen(se vedlegg D, transmisjonstap, andre soner). I tillegg vil den automatiske solavskjermingen utnytte soltilskuddet bedre, samt at arbeidsdager over året er noe mer nøyaktig i simuleringen. Effektbehovet beregnet fra NS 3031 ble 62 W/m² mens simuleringen gav 83,4 W/m². Avviket har sannsynligvis sammenheng med kjøleeffekten som brukes i simuleringen.

Det har ingen hensikt å sammenligne energiforbruket til bygget med statistikk over energiforbruk i kontorbygg siden man kun simulerer et enkelt cellekontor.

Varmebatteriet får en negativ besparelse som følge av VAV-anlegget. Dette skjer sannsynligvis fordi simuleringen bruker en høyere minimumsventilasjon enn CAV-systemet (se, vedlegg D, luftmengder). Dermed vil man bruke mer luft om natten når temperaturen er lavest. Figur 4-13 illustrerer problemet. Som man ser av figuren er luftmengden høyere for VAV-systemet utenfor drifstiden. Normalt vil inntjeningen på varmebatteriet og kjølebatteriet være proporsjonalt med samtidighetsfaktoren (\22\) siden mindre luft skal varmes opp enn for et tilsvarende CAV-system.



Figur 4-13, figur over simulerte luftmengder i EiB.

En stor post for besparelse i simuleringen ble romoppvarming. Siden man bruker ulike temperaturkrav på Gassco avhengig om brukeren er tilstede, vil man spare oppvarmingskostnader. Spart energi på romoppvarming i simulert system er sannsynligvis større enn hva som vil være naturlig for det eksisterende systemet. Det eksisterende systemet har minimumsinstilling på radiatoren, og dermed vil man redusere besparelsen. Samtidig vil eksisterende system utnytte pauser midt på dagen der radiatoren strupes, varme lagret i termisk masse vil dermed utnyttes. Simulert besparelse til romoppvarming vil nesten forsvinne hvis man bruker nattkjøling på CAV-systemet.

Ut ifra temperaturvariasjonene i vinterhalvåret kan det se ut som at kjølebehovet i sommerhalvåret vil bli større enn hva simuleringen viste. Siden data på dette ikke er tilgjengelig blir det vanskelig å forutse dette. Ved større kjølebehov vil nattsenkningen bli veldig viktig for kjølebehovet. Samtidig vil ventilasjonen økes og dermed minker besparelsen for redusert viftebruk med behovsstyring.

Simuleringen viser at man sparer cirka 475 kWh per cellekontor per år med det behovsstyrte anlegget på Gassco. Det er viktig å påpeke at en stor del av besparelsen kommer som følge av redusert temperaturkrav når brukeren er borte samt at det sammenlignbare CAV-anlegget anslås å ha en driftstid fra 07:00 til 21:00. En redusert driftstid samt nattkjøling for CAV-anlegget vil senke fortjenesten betraktelig.

Parameterinnstillinger, EiB

Pumpeeffekten i simuleringen ble satt veldig lavt og en heving av denne vil ha øke totalt energiforbruk proporsjonalt. Pumpeeffekten antas imidlertid å være lik for begge systemene, så en økning her vil ikke påvirke den årlige besparelsen.

Temperaturkrav for kjøling er relativt strengt for systemene. I stede for å bruke nedre nivå for når ventilasjonen økes, burde kanskje temperatur ved maksimal luftmengde brukes. Kjølebehovet til cellekontoret ble imidlertid svært lavt så dette har ikke påvirket resultatene noe nevneverdig.

Reduksjon i SFP-faktoren utgjør normalt en ganske stor del av redusert energibehov. EiB antar at det er en lineær sammenheng mellom SFP og luftmengde. Ideelt er SFP-faktoren til viften proporsjonalt med luftmengden i andre potens. På grunn av reduksjon i virkningsgrad på motoren vil imidlertid effektreduksjonen på motoren bli mindre. Som følge av dette, kan en tilnærming til lineær sammenheng mellom SFP og luftmengde være brukbart. Siden man ikke har SFP-verdier fra anlegget ble det brukt anbefalte SFP-faktorer i simuleringen. En bedre løsning hadde nok vært og brukt veiledende verdier for SFP fra for eksempel forslag til ny NS 3031.

Som man ser av varighetsdiagrammet for temperatur (Vedlegg D, DCV-resultater), har man lave temperaturer for DCV-systemet. Noe av dette skyldes lavere temperaturer som følge av nattkjølingen, men temperaturen burde uansett vært nærmere det som ble logget. For å kompensere for lav temperatur ble varmetilskuddet fra omliggende soner økt. Dette ble gjort likt for begge systemene. Ved vintersimulering med samme temperaturvariasjon

som ble registrert ute, ble simuleringens innetemperatur lavere i forhold til logget romtemperatur (se vedlegg E). Det virkelige systemet oppnår en rask heving av temperaturen mens økningen kommer veldig sent for det simulerte systemet. Det synes som om varmetilskuddet for simuleringen er tregere enn hva som er tilfelle i virkeligheten. Dette skjer selv når varmetilskuddet fra andre soner er økt for å heve temperaturen (se vedlegg D, temperatur andre soner). Konstant lavere temperatur i simuleringen i forhold til det virkelige anlegget vil påvirke det simulerte kjølebehovet.

Et annet forhold som har stor påvirkning på kjølebehovet til simuleringen er innstilling for automatiske markiser. Det ble brukt standardverdier oppgitt av programmet. Disse verdiene innebar en avskjermingsfaktor på 0,2 og 0,5 for henholdsvis solrike dager og øvrige dager. Verifisering av disse verdiene er nødvendig for at korrekt kjølebehov skal være mulig å oppnå med simuleringen.

Alternativ EiB-løsning

Siden resultatet av simuleringen gir negativ besparelse på varmebatteriet er det tydelig at simulering av behovsstyrte anlegg med EiB er vanskelig, spesielt når man har mange ulike nivåer for luftmengden. En annen løsning kunne vært og brukt vanlig CAV-ventilasjon for simulering av de to laveste luftmengdene i det behovsstyrte anlegget, altså luftmengde når brukeren er borte og laveste tilførsel når personen er tilstede(72 m^3/h og 126 m^3/h). Tillegget for kjøling med ventilasjonsluft kan da legges i egen komponent i programmet med SFP tilsvarende der CAV-komponenten slutter (126 m^3/h). Siden tilstedeværelsen er cirka 50 % fra 0700 til 2100 vil driftstiden bli 7 timer for den nye CAV-komponenten. Prinsippet er vist i Tabell 4-9. Sammenligningsanlegget vil være likt som tidligere henholdsvis 126 og 72 m^3/h i og utenfor driftstiden.

	Nåværende innstilling, simulert VAV		Alternativ innstilling, simulert VAV	
	Nedre nivå	Øvre nivå	Nedre nivå	Øvre nivå
VAV	83,25	180	0	54
SFP (VAV)	1,5	3	2,5	3
CAV	-	-	72	126
SFP (CAV)	-	-	1,5	2,5

Tabell 4-9, alternativ simulering med endret tilnærming for DCV-luftmengden.

Problemet med den alternative løsningen vil være uriktig SFP i forhold til luftmengde. Hvis anlegget kjører med full mulig luftmengde (180 m^3/h) vil SFP for total luftmengde bli for lav. 126 m^3/h av denne luftmengden vil ha SFP tilsvarende 2,5 når egentlig hele luftmengden skulle hatt SFP lik 3. Siden man har svært lite kjølebehov på kontoret vil denne tilnærmingen sannsynligvis gi bedre resultat enn vektet nedre luftmengde i VAV-systemet(se vedlegg D, resultater). Ved simulering av denne alternative løsningen blir besparelsen på varmebatteriet -2 prosentenheter noe som bekrefter at det er den økte luftmengden om natten som gir negativ besparelse (se Figur 4-13). Fremdeles får ikke simuleringen positiv besparelse for varmebatteriet. Dette kan som nevnt tidligere, ha

sammenheng med at VAV-systemet har tidvis lavere temperaturer på cellekontoret. Dermed får man mindre varmetilførsel fra avtrekket gjennom varmegjenvinneren.

Alternativ simulering gir total besparelse på cirka 600 kWh der 262 kWh er for viften og redusert lys og oppvarming er henholdsvis 177 og 139 kWh. Besparelsen for kjølebehovet er den samme som før. Sammenlignet med simulert system med vektet luftmengde øker besparelsen på viften fra 30 til 50 %.

Hvis man legger til nattkjøling på CAV-systemet får man negativ besparelse på romoppvarmingen, noe som trolig har sammenheng med den ulike driftstiden på nattkjølingen mellom systemene. Besparelsen på varmebatteriet blir fremdeles svært liten (+17 kWh/år). Som man skjønner er det mye som spiller inn på hvordan resultatene av simuleringen blir. Den alternative metoden virker mer lovende enn opprinnelig metode med vektet luftmengde, med forbehold om at kjølebehovet er lavt. Mange forhold spiller inn på besparelsen og det er derfor nødvendig å gjøre ytterligere analyse av disse resultatene om de skal brukes videre.

Forenklingen ved å kun simulere ett cellekontor synes å være korrekt. Mange feil som er identifisert i simuleringen ville vært vanskelig og oppdaget hvis simuleringen hadde vært gjort for hele bygget.

5. Oppsummering

I dette kapitlet er det gjort en analyse av tilstedeværelse og reguleringsfunksjonalitet på et kontorbygg på Karmøy. Kontoret inneholder 86 cellekontor og åtte møterom som det ble registrert tilstedeværelse i fra 31.1.2007 til 20.3.2007. For å verifisere reguleringen ble det også logget reguleringsdata fra ni cellekontor og tre møterom. Loggene viser at kontorbygget gjennomsnittlig tilstedeværelse er rundt 30 % klokken åtte om morgenen og stiger til 70 % innen klokken ni. Gjennomsnittlig tilstedeværelse opprettholdes til rundt klokken 16:00 og faller ned til 10 % innen klokken 18:00. Etter klokken 20:00 synker gjennomsnittlig tilstedeværelse under 3 %.

Relatert til den virkelige tilstedeværelsen er det visse forhold som trekker logget tilstedeværelse opp. Dette vil være høy tidsforsinkelse på loggingen (20 minutt), mulighet for utløsing av sensor i gang ved åpen dør til tomt kontor og tre cellekontor med flere en to brukere. Selv om det er visse forhold som tilsier at tilstedeværelsen er høyere enn virkeligheten, har Gassco til dels høy tilstedeværelse midt på dagen relatert til andre bygg med kjent tilstedeværelse.

Reguleringsfunksjonaliteten i forhold til radiatorpådrag og lufttemperatur på bygget anses som god på cellekontorene i loggeperioden. Loggen fra møterommene indikerte at CO_2-sensorene trenger kalibrering. For høye verdier i forhold til tilstedeværelsen gjorde at videre vurdering av disse resultatene ble ansett som unødvendig.

For å sette tilstedeværelsen i perspektiv ble det gjort noen energiberegninger. Flere programmer ble vurdert men ingen ble sett på som gode nok for å simulere det eksisterende systemet dynamisk. Energi i Bygninger (EiB) ble brukt som grunnlag for beregningen. Sammenligningsgrunnlaget var et CAV-anlegg uten nattkjølingsmulighet. Tilsvarende CAV-anlegg ble vurdert å måtte ha en driftstid fra 07:00 til 21:00 som følge av fleksibel arbeidstid. Det ble kun gjort energiberegninger for et enkelt cellekontor for å begrense feilkildene. Resultatet ble en reduksjon i energiforbruk på rundt 23 % eller 475 kWh per år per cellekontor. Denne besparelsen synes å være stor nok for at investeringen i DCV-anlegg er lønnsom. Besparelse som følge av redusert ventilasjon og lysstyring resulterer i en besparelse mellom 325 og 439 kWh per år per cellekontor. Fordelt på komponenter blir dette 30-50 % reduksjon i vifteenergi og 45 % reduksjon av energiforbruk til lys.

Gjennomgang av resultatene viste at tilnærminger gjort i EiB resulterte i dårlig balanse mellom de ulike postene for besparelsen. Simuleringen gav blant annet negativ besparelse for varmebatteriet og sannsynligvis for lavt kjølebehov. Programmet Energi i Bygninger vurderes derfor til å være vanskelig å bruke til å simulere behovsstyrt ventilasjon.

6. Konklusjon

I dagens bygninger krever driften av de tekniske anleggene ofte opptil 50 % av elektrisitetsforbruket og 40 % av den totale energibruken, noe som sterkt påvirker både driftsøkonomi og samfunnsmessig bærekraft på lang sikt. Med økende energipriser og et økende internasjonalt press for å redusere bruken av høyverdig energi, vil krav om energieffektive løsninger bli mer og mer aktuelt.

I denne oppgaven er det sett på hybride prosedyrer og prosjektering av mekanisk balansert ventilasjon, samspillet mellom bygning og ventilasjonsløsning, samt tilstedeværelse og reguleringsfunksjonalitet for et behovsstyrt bygg. Til slutt er det gjort energisimuleringer for å finne potensialet ved konvertering fra ventilasjon med konstant luftmengde til behovsstyrt ventilasjon. Energisimulering ble gjennomført i simuleringsprogrammet Energi i Bygninger (EiB) og tar utgangspunkt i et enkelt cellekontor.

Med utgangspunkt i samme krav til luftkvalitet synes mekanisk balansert ventilasjon å ha like stort potensial for redusert energiforbruk som hybride installasjoner. Hovedårsaken til redusert energibehov i hybride installasjoner er redusert energiforbruk som følge av lite trykktap i fordelingssystemet, og energieffektive bygg. Prosjekteringen av hybride installasjoner kjennetegnes ved stor grad av integrert planlegging tidlig i prosjektet. Tidlig planlegging reduserer unødvendige energisluk og man oppnår bedre integrering mellom bygning og tekniske installasjoner. Større timeforbruk tidlig i planleggingsfasen øker kostnadene her, men vil betale seg selv i form av reduserte driftskostnader. Gjensidig forståelse av målene med de tekniske anleggene vil også enklere kunne oppnås ved økt samarbeid i tidlig i prosjektet.

Samspill mellom ventilasjonsløsning synes å være viktig også for behovsstyrt ventilasjon. Dette samspillet vil i stor grad avgjøre hvordan energiforbruket blir med tanke på materialbelastning, temperaturkrav og lignende. Behovsstyrte anlegg har ofte stor grad av termisk kontroll. Termiske forhold i bygningen kan dermed bidra til å øke eller senke energiforbruket til anlegget. Integrert løsning synes å være svært viktig for hybride løsninger, mens mekaniske anlegg har her en større fleksibilitet. Energiforbruket til mekanisk behovsstyrte anlegg er derimot avhengig av hvordan bygningen settes sammen og hvor stor plass man har til føringsveier.

Tilstedeværelse på et kontorbygg i Karmøy kommune ble analysert over en periode på 45 dager i vinterhalvåret. Tilstedeværelsesdataene inneholdt data fra 86 cellekontor og 8 møterom. Gjennomsnittlig tilstedeværelse for cellekontorene var rundt 70 % mellom klokken 09:00 og 16:00. Tilstedeværelsen for møterommene var omtrent på samme nivå, men hadde større variasjon i dette tidsrommet. Loggen viste at man kunne ha tilfeller med opptil 30 % tilstedeværelse klokken 20:00, men gjennomsnittlig tilstedeværelse på dette tidspunktet lå rett under 10 %. Som følge av høy tilstedeværelse på kvelden antas det at et sammenlignbart CAV-anlegg måtte hatt en driftstid fra 07:00 til 21:00. Som følge av denne økningen i driftstid vil besparelsen ved det behovsstyrte anlegget øke.

Cellekontorene blir regulert med to temperaturkrav avhengig om brukeren er tilstede eller borte. Reguleringsdata fra åtte cellekontor antyder at reguleringen av radiatorpådrag og temperaturkontroll fungerer som den skal.

Møterommene på kontorbygget blir regulert etter CO_2-nivå og temperaturnivå.
Reguleringsdata fra tre møterom viste at CO_2-sensorene registrerte for høye verdier. Hele reguleringsfunksjonen for disse rommene synes å ta skade av dette.

Forenklede simuleringer av energiforbruk til et enkelt cellekontor, antydet at det behovsstyrte anlegget ville være lønnsomt ut fra en sammenligning med et CAV-anlegg med driftstid mellom 07:00 og 21:00 uten nattsenkning. Besparelsen som følge av redusert vifteforbruk og lys varierer fra 325 til 439 kWh, avhengig av hvordan man setter opp simuleringen. Tilnærminger gjort i EiB resulterte i uriktige besparelser for varmebatteri og et svært lavt kjølebehov. Dette antyder at simuleringen ikke stemmer overens med virkeligheten. Ut ifra simuleringene vurderes EiB som vanskelig å bruke når potensial for behovsstyrt ventilasjon skal undersøkes.

7. Forslag til videre arbeid

Bygget som tilstedeværelsesdataene i denne oppgaven er hentet fra består som nevnt tidligere av to deler, en gammel og en ny del. Den gamle delen har et tradisjonelt ventilasjonsanlegg og elektriske panelovner. Den nye delen er installert med behovsstyrt ventilasjon og radiatorsystem med gass som energikilde. Bygget burde derfor være et bra utgangspunkt for undersøkelser om luftkvalitet og termisk komfort for CAV- og DCV-ventilasjon.

Datamengden over tilstedeværelse fra bygget er stor og viser en ganske høy gjennomsnittlig verdi. En grundigere gjennomgang av denne datamengden kan kanskje avsløre flere kilder som gjør at tilstedeværelsen er så høy. Hvor mye tidsforsinkelsen har å si for tilstedeværelsen er også interessant å undersøke. Den eksisterende tidsforsinkelsen i bygget vil jo være grunnlaget for hvilke besparelse man skal kunne oppnå. En mer grundig gjennomgang av reguleringsdataene fra både møterom og cellekontor kan også gi verdifull informasjon om funksjonaliteten til slike anlegg.

CO_2-sensorer som ble logget viste seg å gi for høye verdier. Dette synes å være et gjennomgående problem for slike sensorer. Litteraturen er imidlertid uenig om man trenger å kalibrere sensorene eller ikke. Det hadde derfor vært interessant og gjort målinger på installerte CO_2-sensorer i mange bygg og på den måten gi et bedre grunnlag for godheten til slike sensorer.

Selv om CO_2-sensorene tydelig viser for høye verdier ble ikke dette oppdaget av driftsansvarlige på bygget. Dette kan forklares med at de ikke har fått opplæring i hvordan CO_2-verdiene skal variere gjennom dagen. Brukevennlighet på SD-anlegget ville også ha hjulpet for å identifisere slike avvik. Når man installerer avanserte klimatiseringsanlegg som anlegget på Gassco er det veldig viktig at driftspersonellet forstår og har mulighet til å forstå hvordan anlegget skal fungere. En undersøkelse over hvor eksisterende SD-anlegg hadde derfor vært interessant. Fokuset bør rettes mot hvor enkle de er å skjønne, samt muligheten for å finne ut om det er noe galt med anlegget. Nye grensesnitt for bedre overvåkning av behovsstyrte anlegg bør også være mulig å foreslå.

Anlegget på Gassco reduserer luftmengden til materialbelastning når brukerne ikke er tilstede. Det hadde vært interessant og undersøkt hvordan alternative metoder for nattkjøring av ventilasjon hadde gjort utslag på energi og effektforbruk. Man kan for eksempel stenge anlegget om kvelden for så å sjokkventilere rett før arbeidstid. Andre alternativer kan være en stengning om natten med roligere oppstart eller opprettholde lav luftmengde gjennom hele natten.

Ved å redusere temperaturkravet når personen ikke er tilstede, søker man å utnytte en oppvarmet bygningskropp. Potensialet for dette prinsippet i arbeidstiden hadde vært interessant og undersøkt.

Kontorbygget som er brukt i oppgaven bruker ekstra luft for å kjøle rommene. Når man bruker omrøring som her kan man også redusere tilluftstemperaturen 5-6 grader under romtemperatur. Dette vil bidra til å senke kjølebehovet uten at mer luft trenger å tilføres. Ulempen vil være at lufttemperaturen gjerne senkes i hele bygget, og man kan dermed få svært kalde rom. Siden kjølebehovet varierer i bygget hadde det vært interessant og sett hvordan en senkning av tilluftstemperaturen påvirker vanlige soner i et kontorbygg. På den måten kunne bedre datagrunnlag åpnet for muligheter for å bruke denne type løsning. Det er mulig kostnadene ved sentral kjøling overstiger kostnadene ved å øke luftmengden i noen soner. Dette vil jo være avhengig av hvor stor del av bygget som har kjølebehov.

Simuleringen i Energi i Bygninger gav til dels dårlige resultater i ved tilnærmet simulering av behovsstyrt ventilasjon.

8. Referanseliste

\1\ Alsaker, S. Tilstedeværelse i yrkesbygg som dimensjoneringskriterium-energibruk og inneklima. Prosjektoppgave. NTNU, Trondheim, 2006

\2\ Dokka TH, Mysen M, Schild PG, Tjelflaat PO. Bygningsintegrert ventilasjon, en veileder. mars 2003

\3\ Holmberg S, Chen Q. Air flow and particle control with different ventilation systems in a classroom. Indoor Air 2003; 13: 200-204.

\4\ Karlsson A. Behovsstyrd ventilation i lokalbyggnader. Göteborg; Chalmers Tekniska Högskola; 2005.

\5\ Arbeidstilsynet. Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen. Veiledning 444; februar 2003.

\6\ Hanssen SO, Thue JV, Skarstein Ø, Gjerstad FO, Novakociv V, Sjøvold O, Wangensteen I. Enøk i Bygninger, Effektiv Energibruk. 2 utgave. Trondheim: Norges Tekniske og Naturvitenskapelige Universitet; 1996.

\7\ Hanssen SO. HVAC- The importance of clean intake section and dry air filter in cold climate. Indoor Air 2004; 14 (Suppl 7): 195-201.

\8\ Hanssen SO. Atmosfærisk innemiljø. Forelesningsnotat, Tema TEP 25, Innemiljø og klimatisering av bygninger. Trondheim, 2006.

\9\ Hanssen SO. Veiledning i forbindelse med Masteroppgave. Februar til mai 2007.

\10\ Statens bygningstekniske etat. REN veiledning til teknisk forskrift til plan og bygningsloven 1997. 4 utgave, mars 2007.

\11\ Seppänen OA, Fisk WJ, Mendell MJ. Association of ventilation rates and CO2-concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. Indoor Air 1999; 9; 226-252.

\12\ Wigenstad T, Dokka TH, Pettersen T, Myhre L. Energimerking av næringsbygg. Samarbeidsprosjekt mellom Byggforsk og SINTEF Bygg og Miljø på oppdrag fra NVE. Norges byggforskningsinstitutt, Oslo. 2005

\13\ Norges Standardiseringsforbund. prNS 3563. ventilasjon i bygninger, Dimensjoneringsmetoder for inneklima. 1. utgave, juli 2002.

\14\ Sørensen BR. Applications and Energy Consumption of Demand Controlled Ventilation Systems [Doktor ingeniøravhandling]. Norge;Høyskolen i Narvik, 2002.

\15\ Holmberg S, Chen Q. Air flow and particle control with different ventilation systems in a classroom. Indoor Air 2004; 13; 200-204.

\16\ Sørensen HH, Stampe OB, Ludvigsen FH. Ventilation Ståbi. 2 utgave, 3 opplag. København: Nyt Teknisk Forlag; 2004.

\17\ Fang L, Clausen G, Fanger PO. Impact of Temperature and Humidity on the Perception of Indoor Air Quality. Indoor Air 1998; 8; 80-90.

\18\ Fang. L, Clausen G, Fanger PO. Impact of Temperature and Humidity on Perception of Indoor Air Quality During Immediate and Longer Whole-Body Exposures. Indoor Air 1998; 8; 276-284.

\19\ Mathisen HM, Stang J, Kleiven T, Tjelflaat PO. Valg mellom naturlig, hybrid og mekanisk ventilasjon. TRA5993. Trondheim, Sintef Energiforskning, juli 2004.

\20\ Blom P. Krav til luftmengder i ventilasjonsanlegg. Byggdetaljer 421.503. Norges byggforskningsinstitutt: Byggforsk kunnskapssystemer; 1999.

\21\ Wargocki P, Seppänen O, Andersson J, Boerstra A, Clements-Croome D, Fitzner K, Hanssen SO. Indoor Climate and Productivity in Offices. Brussels; Rehva Guidbook no 6, 2006.

\22\ Mysen M, Rydock JP, Tjelflaat PO. Demand controlled ventilation for office cubicles- can it be profitable. Energy and Buildings 2003. 35:657-662.

\23\ Pettersen TD. Planlegging av energieffektive kontorbygg. Planløsning 222.230. Norges byggforskningsinstitutt: Byggforsk kunnskapssystemer; februar 2000.

\24\ Swegon AS. Swegon e.r.i.c.. Teknisk bok om ventilasjonssystemet e.r.i.c. 2005.

\25\ Technical Committee CEN/TC 156 ”Ventilation for buildings”. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings-adressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. prENrev 15251:2006.

\26\ Hanssen SO. Effect of the indoor environment on efficiency and productivity in non industrial buildings. Forelesningsnotater i Tema TEP 25, innemiljø og klimatisering av bygninger. Trondheim: Norges Tekniske og Naturvitenskapelige Universitet; 2006.

\27\ Gassco. Informasjon tilgjengelig på hjemmeside. Benyttet 10.5.07. Internettadresse: www.gassco.no

\28\ Skorild, Kjell. Seniorkonsulent. Gassco, Karmøy. Epost og telefonsamtaler, februar til mai 2007.

\29\ Metrologisk institutt. Benyttet 25.4.07. Internettadresse: http://met.no/observasjoner/rogaland/normaler_for_kommune_1151.html

\30\ Sømme, Bjørn. T.A.C. Serviceingeniør. Telefonsamtaler og mailkorrespondanse fra februar til mai 2007.

\31\ Hjelmervik, Håvard V. Prosjektingeniør VVS. Ferkingstad og Alsaker AS. Epost og telefonsamtaler, februar til mai, 2007.

\32\ Norsk Samfunnsvitenskapelige Datatjeneste (NSD). Telefonsamtale med saksbehandler. Januar 2007. Internettadresse: http://www.nsd.uib.no/

\33\ Halvarsson J, Mathisen HM, Hanssen SO, Kolsaker K. Measured Occupancy in an Office Building. ”Proceedings; Healty Buildings 2006”, Lisboa, 4-8 June 2006.

\34\ Halvarsson J. Veiledning i forbindelse med masteroppgaven. Samtaler fra februar til juni, 2007. NTNU, Trondheim.

\35\ Tjelflaat PO. Samtale, mai 2007. NTNU, Trondheim.

\36\ Emmerich A, Persily SJ. State-of-the-art-review of CO_2 Demand Controlled Ventilation Technology and Application. Colorado; National Institutt of Standards and Technology, March 2001.

\37\ Mathisen H.M., Halvarsson J. Samtidighet som en del av grunnlag for dimensjonering av ventilasjon, SINTEF, TR A6531, 2007.

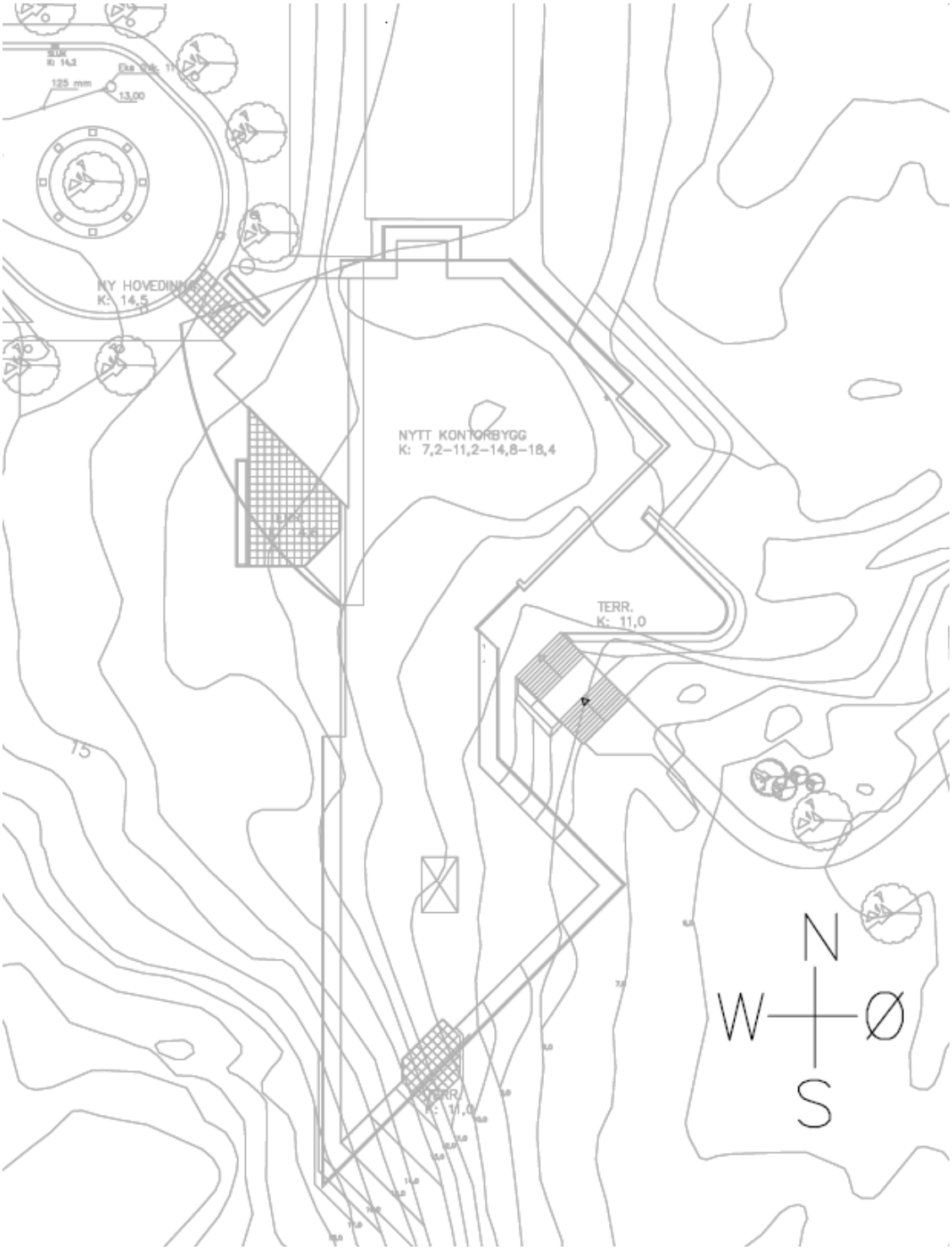
\38\ Norges Standardiseringsforbund. NS 3031. Varmeisolering Beregning av bygningers energi og effektbehov til oppvarming og ventilasjon. 4. utgave, april 1987.

Vedlegg A, soneinndeling på Gassco

Siden loggene ikke kan identifiseres på cellekontornivå ble de ulike kontorene delt inn i soner som vist i tabellen under.

Sone nummer	Sonebeskrivelse	Antall cellekontor	Romnummer
1	1 etgasje, nord	11	139-146, 192-194
2	1 etasje, sør	12	105-112, 115-118
3	2 etasje, nord	10	238-246
4	2 etasje, vest	9	202-210
5	2 etasje, øst	12	212-219, 222-225
6	3 etasje, nord	11	337-347
7	3 etasje, vest	9	302-310
8	3 etasje, nord	12	312-319, 322-325

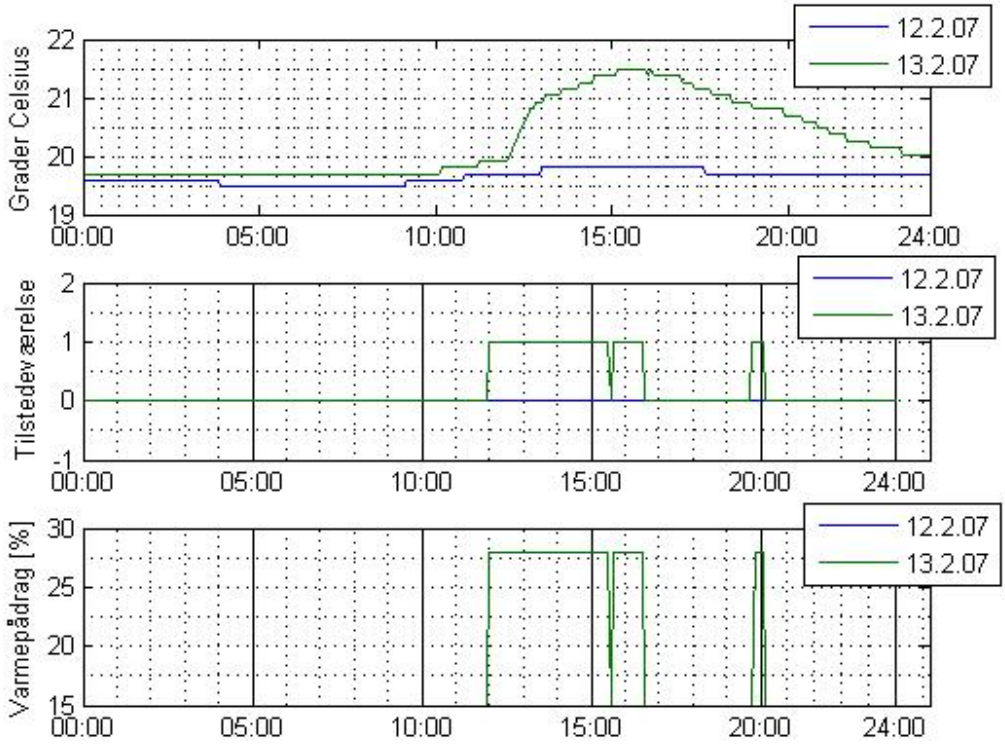
Vedlegg B, Situasjonsplan over Gassco



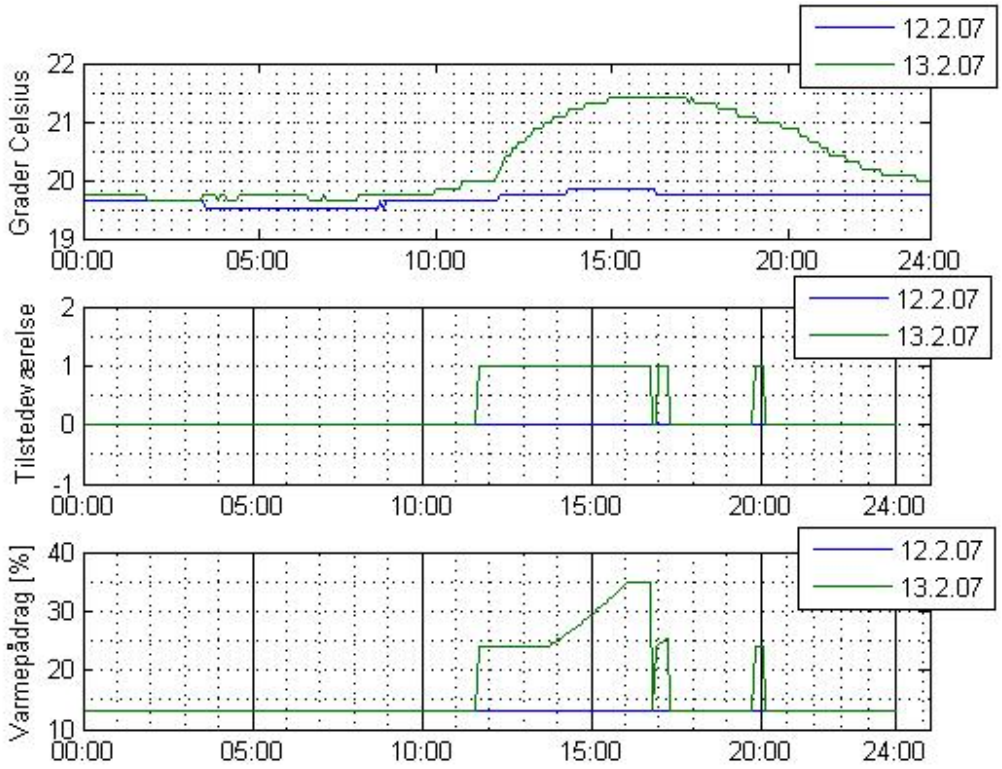
Figur 1, situasjonsplan over nybygg på Gassco. Gammel del ligger mot nord og starter øst for rundkjøringen.

Vedlegg C, figurer fra regulering på Gassco

Cellekontor

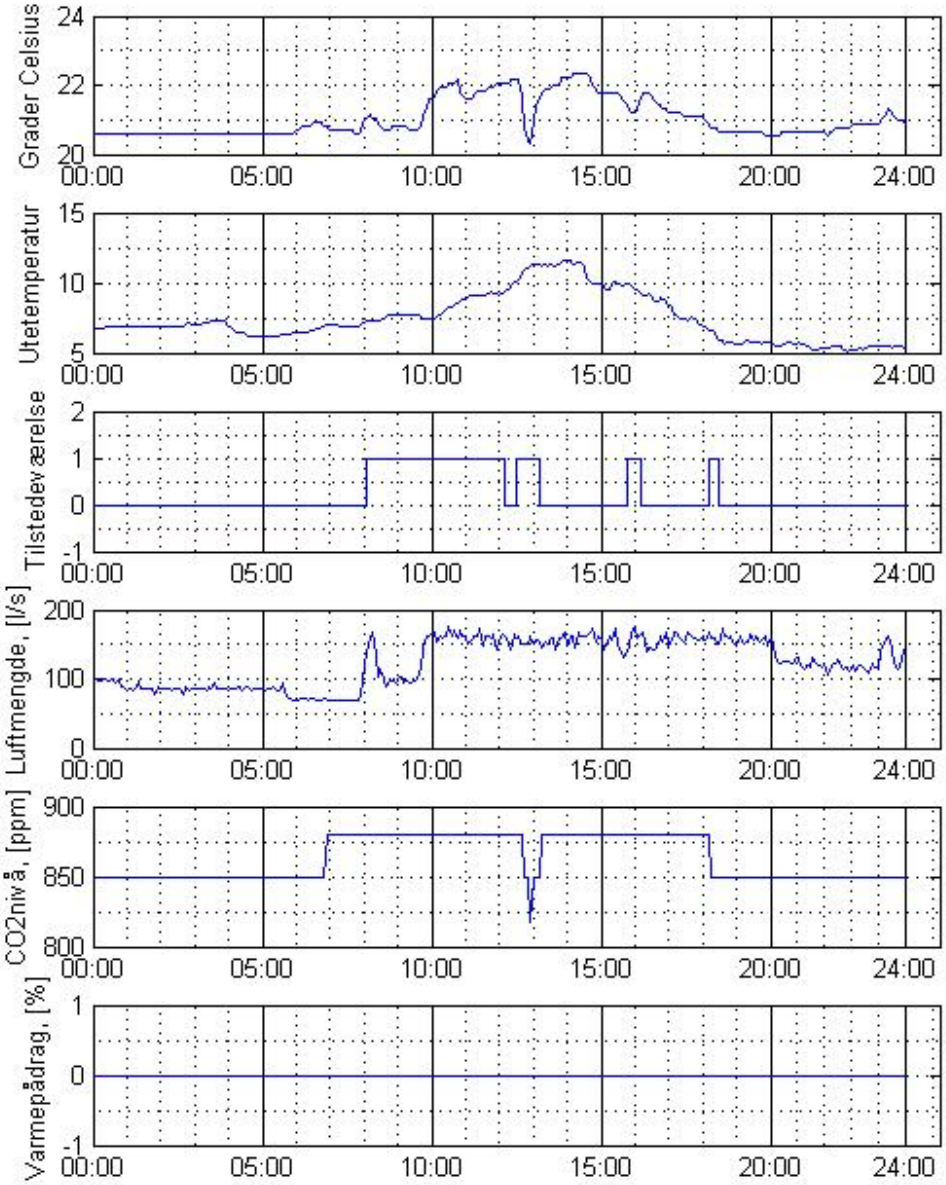


Figur 1, regulering 12 og 13 februar på cellekontor nummer 4, andre etasje vest. Laveste temperatur registrert 12 februar for dette cellekontor. Øverste graf er litt forskjøvet i forhold til klokkeslett.

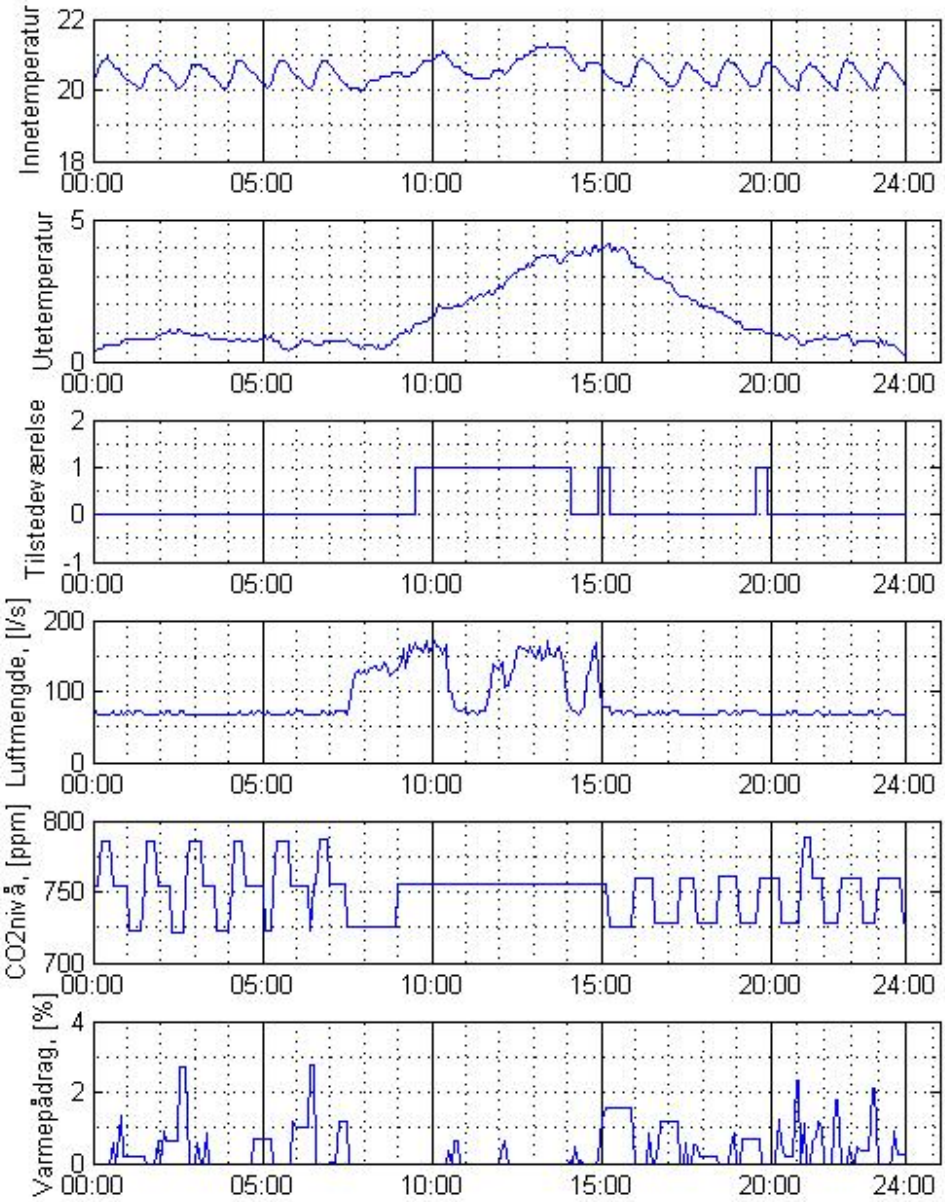


Figur 2, cellekontor nummer 8, andre etasje vest, 12 og 13 februar. Laveste temperatur i måleperioden registrert 12.2.07. Øverste graf er litt forskjøvet i forhold til klokkeslett.

Møterom



Figur 3, møterom 124, reguleringsdata den 1.3.07.



Figur 2, møterom 201. Reguleringsdata fra 9.2.2007.

Vedlegg D, simulering i Energi i Bygninger (EiB)

Selv om programmet Energi i Bygninger har begrenset mulighet til å legge inn variasjonene til et DCV-anlegg, kan allikevel en simulering gi en pekepinn på hvor mye man kan spare med et slikt anlegg.

Simuleringen i EiB er begrenset til å omfatte et enkelt cellekontor. Dette ble gjort for å redusere feilkildene og for enklere å kunne tilpasse simulert modell til de virkelige målingene.

Utgangspunktet er cellekontor nummer 205 på østsiden av Gassco. To prosjektfiler ble lagd, en med CAV og kjøling, den andre med variabel luftmengde.

Ventilasjon, CAV
CAV-anlegget ble satt opp med en driftstid fra 0700 til 2100 iht. konklusjoner i kapittel 4.2.1. Luftmengden i driftstiden ble satt til 126 m^3/h tilsvarende nedre nivå for luftmengde ved tilstedeværelse på Gassco. Utenfor driftstiden senkes ventilasjonen til 72 m^3/h som tilsvarer luftmengde i tomt kontor på Gassco. Siden ikke ventilasjonen kan brukes til kjøling installeres lokal kjøling. Kjølingen aktiveres ved 23 ºC. Tilluftstemperaturen settes til 19 ºC som for Gassco.

Ventilasjon, DCV
Med driftstid fra 0700 til 2100 blir gjennomsnittlig tilstedeværelse på Gassco på 47 %. Siden tilluften brukes som kjøling har man i tre trinn for luftmengden. Luftmengden 72 m^3/h når kontoret ikke er i bruk, 126 m^3/h når kontoret brukes og temperaturen er under 23 ºC. Når temperaturen stiger over 23 ºC vil luftmengden øke for å kjøle ned rommet. Øvre grense for tilluft på et cellekontor er 180 m^3/h. I EiB kan man kun legge inn øvre og nedre luftmengde for VAV. Nedre grense blir også automatisk luftmengden som brukes utenfor driftstiden.

Siden man kun har to variable i programmet må man gjøre en tilnærming for nedre tilluftsmengde. Utgangspunktet er at bygget brukes ca 50 % av tiden. Med en driftstid på 14 timer (0700 til 2100) vil dette medføre 7 timer med VAV. Øvrig tid vil gå på minimumsventilasjon, altså 17 timer per dag. En tilnærming på gjennomsnittlig nedre luftmengde per uke antas å være god nok.

$$\text{Gjennomsnittlig nedre luftmengde} = \frac{(126m^3/h \cdot 7h + 72m^3/h \cdot 17h) \cdot 5 + 72m^3/h \cdot 48h}{24h \cdot 7}$$

$$= 83.25\ m^3/h$$

Øvre grense settes til 180 m3/h for i VAV-instillingene i programmet. Siden kjølingen aktiveres i sekvens med oppvarmingen velges ønsket temperatur på kontoret til 23 ºC.

Tilluftstemperaturen settes til 19 ºC som på Gassco.

Internlaster
De interne lastene på bygget må også tilpasses tilstedeværelsen. Disse vil imidlertid være like for både CAV- og VAV-simuleringen. Brukerne er i hovedsak på bygget mellom kl 07:00 og 17:00. Tilstedeværelsen tilsier derimot at personene er der i gjennomsnitt cirka syv timer per dag. For å tilfredsstille disse kravene fordeles 100 W i syv timer i en driftstid fra 07:00 til 17:00. Gjennom dette vil personbelastningen bidra til internt tilskudd i tiden da de normalt er tilstede, men med en lavere effekt (70 W). På samme måte fordeles effekten for teknisk utstyr.

Det antas, på grunnlag av verdier i EiB, at kontoret inneholder en installert lyseffekt på 130 W. Siden tilstedeværelsen går ned etter kl 17:00 antas det at 90 % av brukerne da slår lyset av siden man ikke har sensor som gjør dette (CAV-anlegget). For VAV-anlegget vil 70 % av denne være aktivisert mellom 08:00 og kl 15:00 (91 W). For å tilpasse dette til tilstedeværelsen fordeles denne effekten fra 07:00 til 17:00 (63,7 W). For CAV-anlegget antas det at lyset står på fra 07:00 til 17:00.

Innetemperatur
Begge systemene bruker 21 ºC som termostattemperatur i driftstiden.

DCV-anlegget på Gassco regulerer temperaturkravet etter tilstedeværelsen. Temperaturkravet hvis brukeren ikke er tilstede er 18 ºC. For å få fram dette i simuleringen brukes nattkjøling og senkning i helg og ferie med denne settpunkttemperaturen. Ingen nattsenking blir installert i forbindelse med CAV-anlegget.

Varmekilde
Cellekontoret som er valgt å simulere har en radiator på 333 W installert. Ved simulering av energiforbruk og VAV-anlegg med nattsenking får man imidlertid opp at installert effekt er for liten. Programmet opplyser at denne feilmeldingen er normal når man bruker VAV-system. Å øke effekten tilsvarende det programmet vil (20 ganger installert effekt) gjør at temperaturkurven er unormalt jevn. Virkelig installert effekt ble derfor benyttet. Feilmeldingen har trolig sammenheng med for høyt krav til temperaturstigning opp til en gitt innetemperatur.

Pumpedriften ble justert til 4 W for begge systemene. Dette begrunnes med at pumpedrift og vifter kombineres i resultatene og dermed vil variasjonen i vifteforbruket bli klarere.

Temperatur i annen sone
Det simulerte cellekontoret har tre vegger som grenser til andre deler av bygget. Temperatursvingningene i naborom antas å følge svingningene i det simulerte rommet. Man vil dermed ha liten varmefluks mellom rommene. Bakre vegg på kontoret vil grense mot en gang som forbinder de ulike rommene i bygget. Det antas at temperaturen i denne nabosonen vil ha noe høyere spissverdier. Gjennom simuleringer viste det seg at temperaturen på cellekontoret ble vesentlig lavere enn hva som ble logget på bygget. Varmetilskudd fra omliggende soner ble derfor økt for å heve temperaturen mot en midlere temperatur nærmere det som ble målt. Økningen tilsvarer et tilskudd på 250

kWh. Omliggende soner i CAV-modellen fikk temperaturforhold slik at varmetilførselen tilsvarte den for VAV-modellen.

Øvrige parametere

Siden det skal gjøres en sammenligning er ikke selve energiforbruket men differansen mellom systemene interessant. Øvrige parametere er derfor like for begge systemene, og er forsøkt bestemt ut ifra kjente verdier fra bygget.

Innstillinger EiB

Tabellen under viser innstillinger som er gjort i EiB.

Felles komponenter	**Verdi**	
Bygningskropp		
Yttervegg	0,26	U-verdi, (W/m2K)
	63	Varmekap.(Wh/m2K)
Innevegg mot naborom	0,34	U-verdi, (W/m2K)
	4	Varmekap.(Wh/m2K)
Innervegg, gang (glass)	2	
	1	Varmekap.(Wh/m2K)
Gulv	0,33	U-verdi, (W/m2K)
	63	Varmekap.(Wh/m2K)
Tak	0,34	U-verdi, (W/m2K)
	63	Varmekap.(Wh/m2K)

Vindu	1,4	W/m²K
Areal	1,65	m²
Soltransmisjonsfaktor	0,55	
Glass/ rammefaktor	0,8	
Helningsvinkel	90	

Kunstig solavskjerming	Automatisk
Avskjermingsfaktor, solrike dager	0,2
Avskjermingsfaktor, andre dager	0,5

Oppvarmet gulvareal	11,44	m²
Oppvarmet romvolum	30,24	m3
Varmekapasitet innredning/ skillevegger	Ingen innredning	
Konstant infiltrasjon	0,3	h-1

Aggregat

Varmebatteri	300	maks. effekt (W)
Kjølebatteri	300	maks. effekt (W)
Kjølefaktor	2,1	
Virkningsgrad, kjøleflater	0,8	
Normal tilluftstemperatur	19	ºC
Temperaturøkning, tilluftsvifte	1	ºC

Annen tilluftstemperatur om sommeren	Nei	
Temp. virkningsgrad, varmegjenvinner	0,65	

Varmebehov

Installert effekt	333	W
Varmefaktor	1	
Effekt, pumper	4	W
Overføringsvirkningsgr. Pumper	0,98	
Distribusjonssystem, driftstid	Hele året	
Varmeavgivelse	Via dist. System.	
Termostattemperatur, oppvarming	21	ºC

Driftsstrategi	Kontorbygg	
Reguleringstemperatur, kjøling	23	ºC

Internlast, teknisk utstyr

Installert effekt	80	W
Gjen. Snitt. effekt i driftstid	56	W
Driftstid	07:00-17:00	
Varmetilskudd	80	%
Gjen. Snitt. effekt utenom driftstid	0	W

Internlast, person

Antall i arbeidstiden	1	person
Antall utenfor arbeidstiden	0	
Arbeidstid (utvidet)	0700:1700	
Varmetilskudd per person (vektet)	70	W

Ulike innstillinger	**CAV**	**DCV**	
Makstemperatur, vinter naborom	19,5	21	
Makstemperatur, sommer naborom	22	23	ºC
Infiltrasjon, naborom	2	5	ºC
Makstemperatur, vinter, gang	21	21	h-1
Makstemperatur, sommer, gang	23	24	ºC
Infiltrasjon, gang	5	5	ºC
Nattkjøling	-	18	h-1
Start, nattkjøling	-	15:00	ºC
Stans, nattkjøling	-	08:00	klokkeslett
Drift, nattkjøling	-	Hele året	klokkeslett

Nedre ventilasjonsnivå	72	83,25	
Øvre ventilasjonsnivå	126	180	m3/h
Driftsstart ventilasjon	07:00	07:00	m3/h
Driftsstans, ventilasjon	21:00	17:00	
Luftmengde utenom driftstid	72	83,25	
SFP med minimum luftmengde	1,5	1,5	m3/h

SFP med maksimum luftmengde	2,5	3	
Ønsket romtemperatur ,VAV	-	22	ºC

Lokal kjøling, CAV

Installert effekt	300	-	W
Reguleringstemperatur	23	-	ºC
Kjølefaktor	2,1	-	

Lys

Installert effekt	130	130	W
Driftstid	07:00-17:00	07:00-17:00	
Gjennomsnittlig effekt i driftstid	130	91	W
Gjennomsnittlig effekt utenom driftstid	13	0	W
Varmetilskudd	80	80	%

Resultater

Resultater er hentet ut ifra simulering av cellekontor med fasade mot vest. Resultater fra CAV-system presenteres først, deretter resultater fra DCV-systemet.

CAV-systemet

Netto energibehov [kWh]

Beskrivelse	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
• 1. Romoppvarming	119	97	76	41	5	0	0	0	4	40	73	101
2. Varmebatterier	91	85	79	49	15	4	0	0	6	28	55	76
3. Vannoppvarming	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4. Vifter og pumper	41	39	44	40	41	41	31	43	42	42	42	43
5. Belysning	33	32	37	32	32	34	18	35	35	34	35	35
6. Teknisk utstyr	11	11	13	11	11	12	4	12	12	12	12	12
7. Romkjøling	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8. Kjølebatterier	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0
Totalt energibehov	296	264	248	172	103	92	53	93	100	156	217	268

Varmebalanse [kWh]

Beskrivelse	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
• Transmisjonstap	76	66	56	31	9	1	-13	-4	1	22	44	64
Infiltrasjonstap	46	42	42	34	26	21	16	16	21	29	35	41
Ventilasjonstap	461	429	438	343	256	208	135	161	208	293	360	424
Lokal kjøling	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Beskrivelse	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
Kjølebatterier	0	0	0	0	0	1	1	4	0	0	0	0
Sum tap/kjøling	582	537	536	408	291	231	139	177	230	344	439	529
Tilsk. internlaster	49	49	56	47	47	51	22	54	53	52	53	54
Tilskudd sol	2	7	19	27	41	38	36	30	21	10	2	1
Tilsk. tilluftsvifter	23	22	24	23	23	23	20	24	23	24	23	24
Tilsk. varmegjenv.	299	279	285	223	161	115	59	70	121	190	234	275
Tilsk. varmebatt.	91	85	79	49	15	4	0	0	6	28	55	76
Romoppvarming	116	95	74	41	5	0	0	0	4	39	71	99
Sum tilsk./oppv.	582	537	536	408	292	231	138	177	229	343	439	529

Transmisjonstap, bygningskropp [kWh]

Beskrivelse	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
• 1. Yttervegger	16	15	15	12	9	7	6	6	7	10	12	15
2. Tak	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3. Gulv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4. Gulv på grunn/kjeller	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5. Vinduer/ytterdører	59	54	55	44	34	27	20	21	27	38	45	53
6. Andre soner	0	-3	-13	-25	-34	-33	-39	-31	-32	-26	-13	-4
Totalt transmisjonstap	76	66	56	31	9	1	-13	-4	1	22	44	64

Varmetilskudd [kWh]

Beskrivelse	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
• 1. Belysning	26	26	29	25	26	27	14	28	28	27	28	28
2. Teknisk utstyr	9	9	10	9	9	9	3	10	10	9	10	10
3. Personer	14	14	16	13	13	15	5	15	15	15	15	15
4. Vannoppvarming	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5. Solinnstråling	2	7	19	27	41	38	36	30	21	10	2	1
Totalt varmetilskudd	52	56	74	74	89	89	59	84	74	61	56	55

Varighet, romtemperatur

Beskrivelse	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
< 17°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-18°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-19°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19-20°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-21°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-22°C	744	672	744	720	714	493	597	448	708	744	720	744
22-23°C	0	0	0	0	30	227	147	296	12	0	0	0
23-24°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24-25°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> 26°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

DCV-systemet

Netto energibehov[kWh]

Beskrivelse	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
1. Romoppvarming	49	46	42	22	6	2	0	1	6	24	44	52
2. Varmebatterier	107	95	86	57	21	7	1	1	9	37	65	88
3. Vannoppvarming	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4. Vifter og pumper	29	26	29	28	29	28	29	29	28	29	28	29
5. Belysning	18	18	21	17	17	19	6	20	20	19	20	20
6. Teknisk utstyr	11	11	13	11	11	12	4	12	12	12	12	12
7. Romkjøling	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8. Kjølebatterier	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Totalt energibehov	215	197	191	136	84	68	41	65	75	121	169	201

Varmebalanse[kWh]

Beskrivelse	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
Transmisjonstap	47	47	47	30	19	11	-7	7	13	24	35	45
Infiltrasjonstap	42	39	40	33	25	20	14	15	20	28	33	38
Ventilasjonstap	386	357	367	300	231	182	131	142	182	254	300	352
Lokal kjøling	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kjølebatterier	0	0	0	0	0	1	1	3	0	0	0	0
Sum tap/kjøling	475	443	453	363	275	213	139	167	215	305	367	435

Beskrivelse	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
Tilsk. internlaster	38	38	43	36	36	39	13	41	41	39	41	41
Tilskudd sol	4	14	27	33	44	39	38	35	27	16	4	3
Tilsk. tilluftsvifter	21	19	21	20	21	20	21	21	20	21	20	21
Tilsk. varmegjenv.	251	232	238	195	147	106	64	69	110	165	195	229
Tilsk. varmebatt.	107	95	86	57	21	7	1	1	9	37	65	88
Romoppvarming	48	46	41	22	6	2	0	1	6	24	43	50
Sum tilsk./oppv.	470	443	457	363	276	214	138	168	214	302	369	433

Transmisjonstap, bygningskropp [kWh]

Beskrivelse	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
1. Yttervegger	15	14	14	12	9	7	5	5	7	10	12	14
2. Tak	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3. Gulv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4. Gulv på grunn/kjeller	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5. Vinduer/ytterdører	54	50	52	42	32	26	18	20	26	36	42	49
6. Andre soner	-22	-17	-19	-23	-22	-22	-31	-19	-19	-21	-19	-18
Totalt transmisjonstap	47	47	47	30	19	11	-7	7	13	24	35	45

Varmetilskudd [kWh]

Beskrivelse	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
1. Belysning	15	15	17	14	14	15	5	16	16	15	16	16
2. Teknisk utstyr	9	9	10	9	9	9	3	10	10	9	10	10
3. Personer	14	14	16	13	13	15	5	15	15	15	15	15
4. Vannoppvarming	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5. Solinnstråling	4	14	27	33	44	39	38	35	27	16	4	3
Totalt varmetilskudd	42	51	71	69	80	78	51	76	69	55	45	44

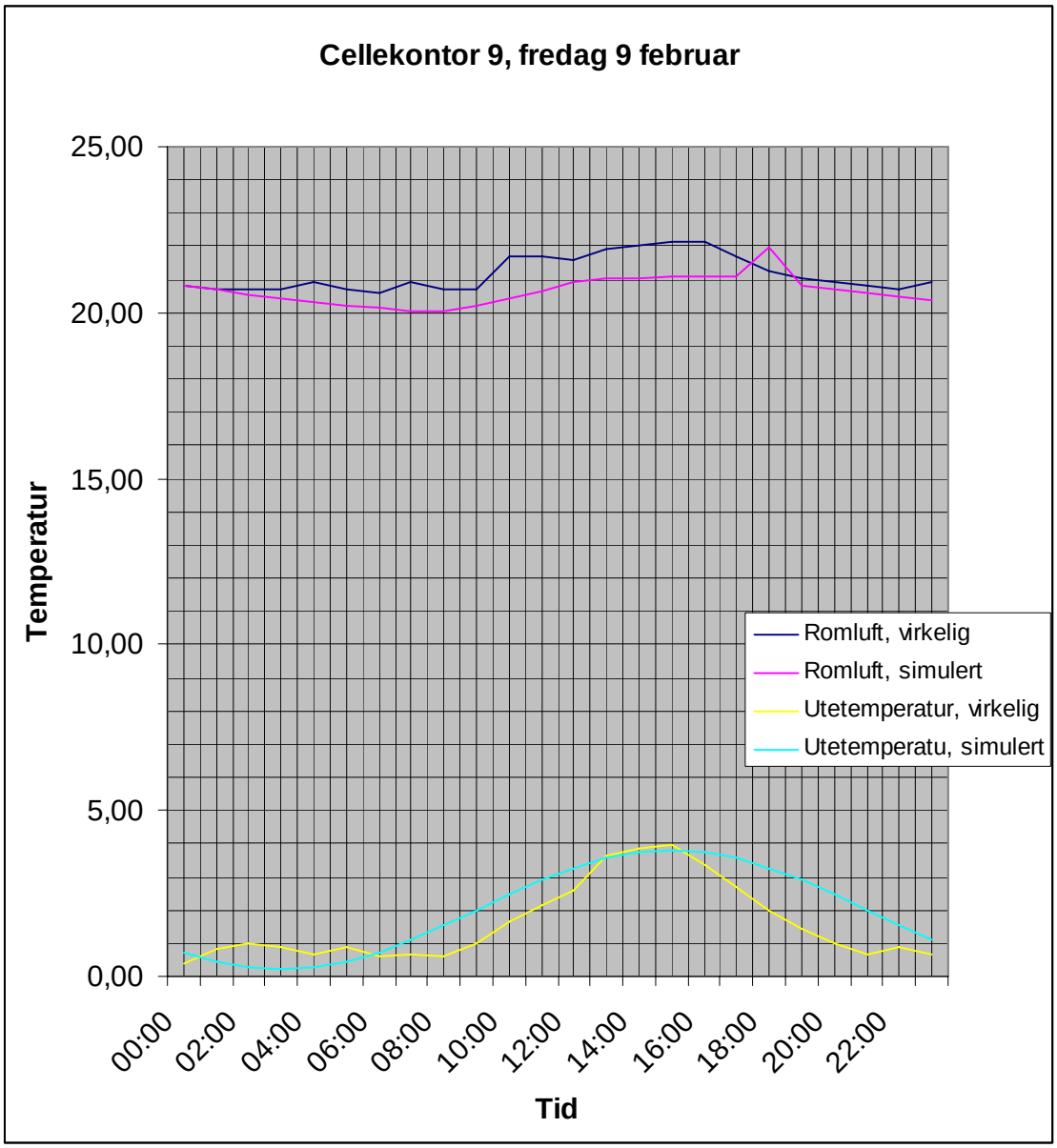
Varighet, romtemperatur

Beskrivelse	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
< 17°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-18°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-19°C	252	168	120	5	0	0	0	0	0	0	124	168
19-20°C	314	287	243	220	1	0	0	0	0	176	214	297
20-21°C	177	207	284	317	407	164	364	108	293	372	318	278
21-22°C	1	10	97	178	336	496	314	502	427	196	64	1
22-23°C	0	0	0	0	0	60	66	134	0	0	0	0
23-24°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24-25°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
> 26°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Vedlegg E, simulert temperatur mot virkelig temperatur

Denne figuren viser simulert ute- og innetemperatur etter vinterforhold med EiB. Simuleringens innendørs starttemperatur samt utendørs temperaturamplitude er forsøkt tilnærmet de virkelige målingene. Temperaturdataene under er funnet ved simulering med oppjustert varmetilskudd fra andre soner (cirka 250 kWh).

De virkelige målingene er hentet fra cellekontor 9, 9.2.2007 (se Figur 4-10, blå kurve)



Vedlegg F, skript fra matlab

Data fra Gassco ble redigert og framstilt grafisk ved hjelp av Matlab (R2006a). Under vises programmeringskode for dette med tilhørende funksjoner.

Skript for tilstedeværelsesdata

```
%PROGRAM FOR REDIGERING AV TILSTEDEVÆRELSESDATA FRA GASSCO

% redigering av tilstedeværelsesdata

clear all;

global dim jobbstart jobbslutt ukedager y_aksegrense;

jobbstart=7.00;     % Når arbeidsdagen starter, rundet ned
jobbslutt=23.8389;   % Når arbeidsdagen slutter, må være i overenstemmelse med
tallverdi for klokkeslett
ukedager=5;         % antall ukedager per uke
y_aksegrense= [0 1];
A=xlsread('m:\5  klasse\Hovedoppgave\Logg\allesammen','Sheet1','B1294:CJ13802');  %
Plassering av fil og hvor dataen starter og slutter
%A=xlsread('m:\5
klasse\Hovedoppgave\Logg\Bevegelsereg_Moterom','Sheet1','B1294:J13802');

A(:,1)=A(:,1)*24; % Ordner klokkeslett slik at verdien går fra 0000 til 2400



dim=size(A);



%Tilstedeværelsesdata fra Gassco hadde 3 for borte og 0 for tilstede på
%kontoret. dette blir endret slik at 1 betyr tilstede og 0 betyr borte

for k=2:dim(2);
    for i=1:dim(1);
        if A(i,k)==3
        A(i,k)=0;
        else
        A(i,k)=1;
        end
    end
end

B=A(:,1:2);

% Summerer tilstedeværelse for tidsskritt

for i=1:dim(1)
    tilst=sum(A(i,2:end))/(dim(2)-1);
    B(i,2)=tilst;
end
% FUNKSJONER SOM ORDNER MATRISEN

% Analyserer summert tilstedeværelse

arbeidstid=ukefinner(B);             % finner aktuelle data innenfor en arbeidstid,
arbeidstiden angis øverst i hoveddok

ukematrise2=ukeordner2(arbeidstid);  % ordner data på ukebasis
ukedager=5;                          % tilbakestiller ukedager


dim=size(ukematrise2);
maaling_per_dag=dim(1)/ukedager; % beregner hvor mange målinger en dag inneholder
med gitt driftstid

% Analyserer tilstedeværelsen på de ulike cellekontorene separat
```

```
arbeidstid2=ukefinner2(A,maaling_per_dag);  %  Rydder  matrisen  slik  at  man  har
tilstedeværelsesdata fra alle kontorene etter arbeidstid og ukedager
tilst_kontor=tilstedev_kont(arbeidstid2,maaling_per_dag);     %     regner     ut
gjennomsnittlig tilstedeværelse for hvert kontor og plotter grafer

ukegjennomsnitt=gj_snitt_uke(ukematrise2);% finner gjennomsnittlig tilstedeværelse
for alle ukene

maxmin=tilstedev_kont2(arbeidstid2,maaling_per_dag); % finner maksimal og minimal
tilstedeværelse samt plotter figur
```

Funksjoner i skript til tilstedeværelsesdata

Ulike funksjoner som brukes i hovedskript for redigering av tilstedeværelsesdata.

Funksjon 1

```
clear all


%funksjonen skal finne tilstedeværelse innenfor en angitt arbeidstid

function arbeidstid=ukefinner(mat)
global dim jobbstart jobbslutt;

mandag_forste_uke=1;

i=1;

for k=mandag_forste_uke:dim(1)
if mat(k,1)< jobbslutt && mat(k,1)>=jobbstart
    arbeidstid(i,1)=mat(k,1);
    arbeidstid(i,2)=mat(k,2);
    i=i+1;
end
end
```

Funksjon 2

```
% funksjonen skal ordne gjennomsnittlig tilstedeværelse til ukebasis

function ukematrise2=ukeordner2(mat2)

global jobbstart jobbslutt ukedager;

ukedager=ukedager+2;
dim=size(mat2);

% finner målinger per dag
maaling_pr_dag= round((jobbslutt-jobbstart)*12);
ukematrise2=zeros(maaling_pr_dag*ukedager,7);

% setter opp første uke
ukematrise2(1:maaling_pr_dag*ukedager+ukedager,1)=mat2(1:maaling_pr_dag*ukedager+uk
edager,1);
ukematrise2(1:maaling_pr_dag*ukedager+ukedager,2)=mat2(1:maaling_pr_dag*ukedager+uk
edager,2);

dim2=size(ukematrise2);
antall_uker=floor(dim(1)/ukedager);
x=1;
k=3;
for i=dim2(1)+1:dim(1)
    ukematrise2(x,k)=mat2(i,2);
    if x==dim2(1)
        k=k+1;
        x=0;
    end
    x=x+1;
end

% slette helgedagene
ukematrise2(maaling_pr_dag*5+ukedager-1:end,:)=[];
```

Funksjon 3

```
% Funksjonen ordner tilstedeværelsesdata etter arbeidstid for hvert
% cellekontor
function arbeidstid2=ukefinner2(mat4,maaling_pr_dag)

global dim jobbstart jobbslutt ukedager;

ukemaalinger=ukedager*maaling_pr_dag;

dim2=size(mat4);
i=1;


for k=1:dim2(1)
    if mat4(k,1)< jobbslutt && mat4(k,1)>=jobbstart
        for x=1:dim2(2)
        arbeidstid2(i,x)=mat4(k,x);
        end
    i=i+1;
    end
end
dim3=size(arbeidstid2);

% sletter helgedager
for x=1:floor(dim3(1)/(maaling_pr_dag*7))
arbeidstid2(ukemaalinger*x+1:ukemaalinger*x+2*maaling_pr_dag,:)=[];
end
```

Funksjon 4

```
% funksjonen skal regne gjennomsnittlig tilstedeværelse på de enkelte
% cellekontor i arbeidstiden / målingsperioden
function tilst_kontor=tilstedev_kont(mat5,maaling_pr_dag)
global y_aksegrense jobbslutt;

dim=size(mat5);


% må fjerne siste dag siden den ikke er fullkommen

antall_fulle_dager=floor(dim(1)/maaling_pr_dag);
rest=dim(1)/maaling_pr_dag-antall_fulle_dager;
rest=rest*maaling_pr_dag;

for i=1:rest

mat5(dim(1)-i+1,:)=[];% sletter ufullstendig dag
end


dim2=size(mat5);
tilst_kontor=zeros(dim2(2)-1,1);
for k=1:dim2(2)-1
    tilst_kontor(k,1)=k;
    tilst_kontor(k,2)=sum(mat5(:,k+1))/dim2(1);
end

dim3=size(tilst_kontor);

% plotter tilstedeværelse fordelt på ulike cellekontor
sorteringsmatrise=tilst_kontor;
figure(3)
clf
title('Sortert tilstedeværelse på de ulike cellekontor')
ylim ([0 1])
xlim([0 dim3(1)+1])
ylabel('Tilstedeværelse')
grid
hold on

% plotter tilstedeværelse for de ulike sonene
bar((sorteringsmatrise(:,1)),(sorteringsmatrise(:,2)))  %  fjern  sort  for  møterom
bar(sort(sorteringsmatrise(:,1)),sort(sorteringsmatrise(:,2)))

soneinndeling=zeros(8,12);
soneinndeling(1,1:11)=tilst_kontor(1:11,2);
soneinndeling(2,1:12)=tilst_kontor(12:23,2);
```

```
soneinndeling(3,1:10)=tilst_kontor(24:33,2);
soneinndeling(4,1:09)=tilst_kontor(34:42,2);
soneinndeling(5,1:12)=tilst_kontor(43:54,2);
soneinndeling(6,1:11)=tilst_kontor(55:65,2);
soneinndeling(7,1:09)=tilst_kontor(66:74,2);
soneinndeling(8,1:12)=tilst_kontor(75:86,2);

for i=1:8
    soneinndeling(i,:)=sort(soneinndeling(i,:));
end

figure(4)
clf
title('Sortert tilstedeværelse på de ulike sonene')
ylim ([0 1])
xlim([0 9])
ylabel('Tilstedeværelse')
grid
hold on
bar(soneinndeling,'group')
```

Funksjon 5

```
%Regner gjennomsnitt ut ifra ukematrisen
function ukegjennomsnitt=gj_snitt_uke(mat6)

dim=size(mat6);
% siste uke er ikke fullstendig => slett siste uke
mat6(:,dim(2))=[];

dim2=size(mat6);

for k=1:dim2(1)
    ukegjennomsnitt(k,1)=mat6(k,1);
    ukegjennomsnitt(k,2)=sum(mat6(k,2:end))/(dim2(2)-1);
end
```

Funksjon 6

```
% Funksjonen skal finne dag med maksimal og minimal tilstedeværelse
% minimal og maksimal tilsedeværelse finnes for hvert tidsskritt

function maxmin=tilstedev_kont2(matrise,maaling_pr_dag)

dim=size(matrise);

antall_dager=floor(dim(1)/maaling_pr_dag); % siste dag er ikke fullstendig
maxmin=zeros(maaling_pr_dag,4);
maxmin(1:maaling_pr_dag,1)=matrise(1:maaling_pr_dag,1);


% regner ut tilstedeværelse på alle kontorene iløpet av alle tidspunktene
for i=1:dim(1)
    tilst=sum(matrise(i,2:end))/(dim(2)-1);
    matrise2(i,2)=tilst;
end
maxmin(1:maaling_pr_dag,3)=matrise2(1:maaling_pr_dag,2);
maxmin(1:maaling_pr_dag,2)=matrise2(1:maaling_pr_dag,2);
% finner dag med størst, minst tilstedeværelse samt gjennomsnittlig
% tilstedeværelse
% størst tilstedeværelse: maxmin, rad 2
% minst tilstedeværelse: maxmin, rad 3
% gjennomsnittlig tilstedeværelse: maxmin, rad 4

mpd=maaling_pr_dag;

for k=1:antall_dager;
   A=matrise2(mpd*k-(mpd-1):k*mpd,2) ;
    for i=1:mpd

        if A(i,1)>maxmin(i,2)
            maxmin(i,2)=A(i,1);
```

```
        elseif A(i,1)<maxmin(i,3)
            maxmin(i,3)=A(i,1);

        end
    end
    if k==1
    maxmin(1:maaling_pr_dag,4)=A(:,1);
    else
        for i=1:maaling_pr_dag
        maxmin(i,4)=maxmin(i,4)+A(i);
        end
    end
end
maxmin(:,4)=maxmin(:,4)/antall_dager;

% Plotter figur med maksimal, gjennomsnittlig og minimal tilstedeværelse
figure(2)
plot(maxmin(:,1),maxmin(:,2),maxmin(:,1),maxmin(:,4),maxmin(:,1),maxmin(:,3))
legend('Maksimal','Gjennomsnittlig','Minimal')
title('Tilstedeværelse på Gassco')
xlabel('Tid på døgnet [h]')
ylabel('Tilstedeværelse')
grid on
```

Skript for reguleringsdata fra cellekontor

```
% Program for reguleringsdata fra 9 cellekontor på Gassco
% data tas ut fra 5.2.2007 kl 00.00
clear all;


% reguleringsdata sone 2 etg vest
matrise=xlsread('m:\5
klasse\Hovedoppgave\Logg\Regulering_Sone_2etg_vest','Sheet1','B1216:U13812');
matrise(:,1)=matrise(:,1)*24;

% tilstedeværelsesdata sone 2 etg vest
matrise2=xlsread('m:\5
klasse\Hovedoppgave\Logg\Bevegelsereg_Sone_2etg_vest','Sheet1','B1210:K13806');
matrise2(:,1)=matrise2(:,1)*24;

%Tilstedeværelsesdata fra Gassco hadde 3 for borte og 0 for tilstede på
%kontoret. dette blir endret slik at 1 betyr tilstede og 0 betyr borte
dim=size(matrise2);
for k=2:dim(2);
    for i=1:dim(1);
        if matrise2(i,k)==3
        matrise2(i,k)=0;
        else
        matrise2(i,k)=1;
        end
    end
end

romnummer=9; % romnumemr som skal sorteres i matrise, rad per dag
sorteredag=sorter(matrise,romnummer,matrise2);

stoerste_verdi=stoerste(sorteredag); % finner maksimal og minimal verdi

% plotter ønsket dag
plott_dag=5; %stoerste_verdi(1,1);
plotter=plotting(sorteredag,plott_dag,romnummer);
```

Skript for funksjoner til reguleringsdata fra cellekontor

Funksjon 1

```
% Lag en funksjon som finner ønsket rom, sorterer dataen i rader per dag,
% mat1 er lik reguleringsdata for sone 2etg vest

function sorteredag=sorter(mat1,romnr,mat2)
```

```
dim=size(mat1);
romdata=zeros(dim(1),3);
romdata(:,1)=mat1(:,1); % tidspunktene
romdata(:,2:3)=mat1(:,romnr*2:romnr*2+1);
romdata(:,4)=mat2(:,romnr+1);

start=romdata(1,1);
sorteredag(1,1)=start;
sorteredag(1,2)=romdata(1,2);
sorteredag(1,3)=romdata(1,3);
sorteredag(1,4)=romdata(1,4);


i=2;
while romdata(i,1)~=start
    for k=1:4
        sorteredag(i,k)=romdata(i,k);
    end
    i=i+1;
end
dim2=size(sorteredag);
antall_dager=floor(dim(1)/dim2(1)); % finner ut hvor mange dager målingene er,
runder ned
x=5; % Der neste rad starter etter dag 1
for k=1:antall_dager-1
    for i=1:dim2(1)
        sorteredag(i,x)=romdata(i+dim2(1)*k,2);
        sorteredag(i,x+1)=romdata(i+dim2(1)*k,3);
        sorteredag(i,x+2)=romdata(i+dim2(1)*k,4);
    end
    x=x+3;
end


% Sorteredag matrisen har nå tidspunkt fra tolv til tolv, altså ett døgn i
% første rad samt dagene med regulering og tilstedeværelse i form av rader bortover
for hver
% dag, INKLUDERT LØRDAG OG SØNDAG
```

Funksjon 2

```
% funksjon som kan finne største (og minste) verdi fra reguleringsdata og
% returnere dagnummer og denne verdien

function stoerste_verdi=stoerste(mat1)

dim=size(mat1);
stoerste_verdi(1,1)=0;
stoerste_verdi(1,2)=0; % null for å finne største verdi, 50 for å finne minste
verdi
k=3;% k= 3 for temperatur

while k<dim(2)

    for i=1:dim(1)
        if mat1(i,k)>stoerste_verdi(1,2) % "større enn" tegnet må endres til
"mindre enn" for å finne minste verdi
            stoerste_verdi(1,2)=mat1(i,k);
            stoerste_verdi(1,1)=k/3;
        end
    end
    k=k+3;
end
```

Funksjon 3

```
% funksjonen skal plotte
function plotter=plotting(mat3,dag,romnr)

dim1=size(mat3);
%dim2=size(dag);

foerste_matrise=3*dag-1;
andre_matrise=3*(dag+1)-1; % andre dag
x=1:dim1(1);
x=x/12; % på timebasis: x/12
figure(1)
```

```
title('Reguleringsdata for rom')
subplot(3,1,1);plot(x,mat3(1:dim1(1),foerste_matrise+1))%,x,mat3(1:dim1(1),andre_ma
trise+1));
% kan utvides til å ta neste dag

ylabel ('Grader Celsius')
xlim([0 24])
%legend ('9.2.07','10.2.07') % nødvendig hvis man skal plotte flere dager
%dato må endres
grid minor

subplot(3,1,2);plot(x,mat3(1:dim1(1),foerste_matrise+2))%,x,mat3(1:dim1(1),andre_ma
trise+2)); % må bruke "plot"(ikke "stairs") hvis flere dager skal plottes
% kan utvides til å ta neste dag

ylabel ('Tilstedeværelse')
ylim([-1 2])
%legend ('9.2.07','10.2.07') % nødvendig hvis man skal plotte flere dager
%dato må endres
grid minor

subplot(3,1,3);plot(x,mat3(1:dim1(1),foerste_matrise))%,x,mat3(1:dim1(1),andre_matr
ise))
% kan utvides til å ta neste dag
ylabel ('Varmepådrag [%]')
%legend ('9.2.07','10.2.07') % nødvendig hvis man skal plotte flere dager,
%dato må endres
%hold on
grid minor

plotter=1; % Siden det er brukt funksjon til plotting må denne få en verdi
```

Skript for reguleringsdata fra møterom

```
% Program for reguleringsdata fra 3 møterom på Gassco
% data tas ut fra 5.2.2007 kl 00.00
clear all


% reguleringsdata sone 2 etg vest
matrise=xlsread('m:\5
klasse\Hovedoppgave\Logg\Regulering_Møterom','Sheet1','B1216:R13808');
matrise(:,1)=matrise(:,1)*24; % multipliserer med 24 for å få tidsdata mellom 0000
og 2400

% tilstedeværelsesdata sone 2 etg vest
matrise2=xlsread('m:\5
klasse\Hovedoppgave\Logg\Bevegelsereg_Moterom','Sheet1','B1210:J13806');
matrise2(:,1)=matrise2(:,1)*24;

%Tilstedeværelsesdata fra Gassco hadde 3 for borte og 0 for tilstede på
%kontoret. dette blir endret slik at 1 betyr tilstede og 0 betyr borte
dim=size(matrise2);
for k=2:dim(2);
    for i=1:dim(1);
        if matrise2(i,k)==3
        matrise2(i,k)=0;
        else
        matrise2(i,k)=1;
        end
    end
end

romnummer=3; % romnumemr som skal sorteres i matrise, rad per dag
sorteredag2=sorter2(matrise,romnummer,matrise2);

stoerste_verdi2=stoerste2(sorteredag2); % Finner maksimal og minimal verdi for
ulike parametere

% Plotter ønsket dag og rom
plott_dag=9;
plotter2=plotting2(sorteredag2,plott_dag,romnummer);
```

Skript for funksjoner til reguleringsdata fra møterom

Funksjon 1

```
% Lag en funksjon som finner ønsket rom, sorterer dataen i rader per dag,
% og gjerne sletter helgedagene.
% mat1 er lik reguleringsdata for møterom

function sorteredag2=sorter2(mat1,romnr,mat2)

%Lager ny matrise med dager nedover i åtte rader
% Rad 1: tidspunkt på dagen
% Rad 2: varmepådrag [%]
% Rad 3: Temperatur
% Rad 4: CO2 nivå, ppm
% Rad 5: VAV-spjeld [%]
% Rad 6: Luftmengde (l/s)
% Rad 7: Tilstedeværelse [0 1]
% Rad 8: Utetemperaturdim=size(mat1);
dim=size(mat1);
romdata=zeros(dim(1),8);
romdata(:,1)=mat1(:,1); % tidspunktene
romdata(:,2:6)=mat1(:,romnr*5-3:romnr*5-3+4);
romdata(:,7)=mat2(:,romnr+1);
romdata(:,8)=mat1(:,dim(2));

for k=1:8
    sorteredag2(1,k)=romdata(1,k);
end

start=romdata(1,1);


% legger inn første dag i ny matrise
i=2;
while romdata(i,1)~=start
    for k=1:8
        sorteredag2(i,k)=romdata(i,k);
    end
    i=i+1;
end

dim2=size(sorteredag2);
antall_dager=floor(dim(1)/dim2(1)); % finner ut hvor mange dager målingene er,
runder ned
x=9; % Der neste rad starter etter dag 1
for k=1:antall_dager-1
    for i=1:dim2(1)
        sorteredag2(i,x)=romdata(i+dim2(1)*k,2);
        sorteredag2(i,x+1)=romdata(i+dim2(1)*k,3);
        sorteredag2(i,x+2)=romdata(i+dim2(1)*k,4);
        sorteredag2(i,x+3)=romdata(i+dim2(1)*k,5);
        sorteredag2(i,x+4)=romdata(i+dim2(1)*k,6);
        sorteredag2(i,x+5)=romdata(i+dim2(1)*k,7);
        sorteredag2(i,x+6)=romdata(i+dim2(1)*k,8);

    end
    x=x+7;
end

% Sorteredag matrisen har nå tidspunkt fra tolv til tolv, altså ett døgn i
% første rad samt dagene med regulering og tilstedeværelse i form av rader bortover
for hver
% dag, INKLUDERT LØRDAG OG SØNDAG
```

Funksjon 2

```
% funksjon som kan finne største (og minste) verdi fra reguleringsdata og
% returnere dagnummer og denne verdien

function stoerste_verdi2=stoerste2(mat1)

dim=size(mat1);
 % startverdier for sammenligning for å finne størst og minst verdi

stoerste_verdi2(1,1)=0; % dag største temperatur
stoerste_verdi2(1,2)=0; % største temperatur
```

```
stoerste_verdi2(2,1)=0; % dag minste temperatur
stoerste_verdi2(2,2)=50; % minste temperatur
stoerste_verdi2(3,1)=0; % dag største ppm
stoerste_verdi2(3,2)=0; % største ppm
stoerste_verdi2(4,1)=0; % dag minste ppm
stoerste_verdi2(4,2)=1000; % minste ppm
stoerste_verdi2(5,1)=0; % dag minste luftmengde
stoerste_verdi2(5,2)=500; % minste luftmengde
stoerste_verdi2(6,1)=0; % dag største luftmengde
stoerste_verdi2(6,2)=0; % største luftmengde

k=3;% k= 3 for temperatur

while k<dim(2)

    for i=1:dim(1)
        % Høyeste temperatur
        if mat1(i,k)>stoerste_verdi2(1,2)
            stoerste_verdi2(1,2)=mat1(i,k);
            stoerste_verdi2(1,1)=(k+4)/7;
        end
        % minste temperatur
        if mat1(i,k)<stoerste_verdi2(2,2)
            stoerste_verdi2(2,2)=mat1(i,k);
            stoerste_verdi2(2,1)=(k+4)/7;
        end
        % Høyeste ppm
        if mat1(i,k+1)>stoerste_verdi2(3,2)
            stoerste_verdi2(3,2)=mat1(i,k+1);
            stoerste_verdi2(3,1)=(k+4)/7;
        end
        % minste ppm
        if mat1(i,k+1)<stoerste_verdi2(4,2)
            stoerste_verdi2(4,2)=mat1(i,k+1);
            stoerste_verdi2(4,1)=(k+4)/7;
        end
        % minste luftmengde
        if mat1(i,k+3)<stoerste_verdi2(5,2)
            stoerste_verdi2(5,2)=mat1(i,k+3);
            stoerste_verdi2(5,1)=(k+4)/7;
        end
        % største luftmengde
        if mat1(i,k+3)>stoerste_verdi2(6,2)
            stoerste_verdi2(6,2)=mat1(i,k+3);
            stoerste_verdi2(6,1)=(k+4)/7;
        end
    end
    k=k+7;
end
```

Funksjon 3

```
% Funksjonen skal plotte

function plotter2=plotting2(mat3,dag,romnr)

dim1=size(mat3);
%dim2=size(dag);
% Rad 1: tidspunkt på dagen
% Rad 2: varmepådrag [%]
% Rad 3: Temperatur
% Rad 4: CO2 nivå, ppm
% Rad 5: VAV-spjeld [%]
% Rad 6: Luftmengde (l/s)
% Rad 7: Tilstedeværelse [0 1]
% Rad 8: Utetemperaturdim=size(mat1);

foerste_rad=7*dag-5;
x=1:dim1(1);
x=x/12; % på timebasis: x/12

% Lager en figur med subplot for å kunne sammenligne data
figure(1)
title('Reguleringsdata for rom')
subplot(6,1,1);plot(x,mat3(1:dim1(1),foerste_rad+1));
ylabel ('Grader Celsius')
grid minor

subplot(6,1,2);plot(x,mat3(1:dim1(1),foerste_rad+6))
```

```
ylabel('Utetemperatur')
grid minor

subplot(6,1,3);stairs(x,mat3(1:dim1(1),foerste_rad+5));
ylabel ('Tilstedeværelse')
ylim([-1 2])
grid minor

subplot(6,1,4);plot(x,mat3(1:dim1(1),foerste_rad+4))
ylabel ('Luftmengde, [l/s]')
grid minor

subplot(6,1,5);plot(x,mat3(1:dim1(1),foerste_rad+2))
ylabel ('CO2nivå, [ppm]')
grid minor

subplot(6,1,6);plot(x,mat3(1:dim1(1),foerste_rad))
ylabel ('Varmepådrag, [%]')
grid minor
plotter2=1;

% Ny figur med CO2-nivå og temperaturnivå
figure(2)
title('Temperatur og CO2nivå')
AX=plotyy(x,mat3(1:dim1(1),foerste_rad+1),x,mat3(1:dim1(1),foerste_rad+2));
set(get(AX(1),'Ylabel'),'String','Temperatur')
set(get(AX(2),'Ylabel'),'String','CO2-nivå, ppm')
xlabel('Tid(h)')
grid minor

% Ny figur med CO2-nivå og luftmengde
figure(3)
title('Co2-nivå og luftmengde')
AX2=plotyy(x,mat3(1:dim1(1),foerste_rad+2),x,mat3(1:dim1(1),foerste_rad+4));
set(get(AX2(1),'Ylabel'),'String','ppm')
set(get(AX2(2),'Ylabel'),'String','Luftmengde')
xlabel('Tid(h)')
grid minor
```

Vedlegg G, datablad for tilstedeværelsessensor

PIR-TF-25-360 NÄRVARODETEKTOR

för takmontage 360° täckningsområde

CE 7.11

- Frånslagsfördröjd: valbar 0,1 till 30 min.
- Tillslagsfördröjd: valbar 0 till 10 min.
- 24V AC/DC anslutningsspänning
- En växlande utgång

FUNKTIONER

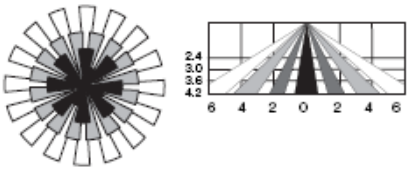
PIR-TF-25-360 närvarodetektor är en mycket pålitlig detektor av dubbelelementtyp. Detektorn är elegant kapslad i en vit kåpa. Linsen har ett tätt täckningsområde i 360° för att säkert detektera en ständig närvaro. Fördröjningstiderna kan inställas med byglar.

TEKNISKA DATA

Anslutningsspänning:	24V AC/DC ±2V
Driftström:	5mA
Larmutgång:	växling, 24V AC/DC, 0,2A
Radiofrekvensstörningar:	20V/m genomsnitt
Temperatur:	-20°C till +60°C
Fuktighet:	Max 95% rH
Vikt:	85g
Monteringshöjd:	2,4~4,2 m
Färg:	Vit
Detekterbar rörelse:	Mellan 0,1~3,0 m/sek.

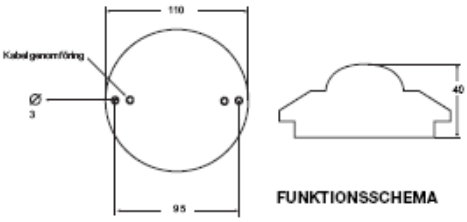
TÄCKNINGSOMRÅDE

uppifrån 360° | från sidan

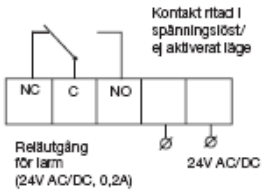


MÅTTUPPGIFTER

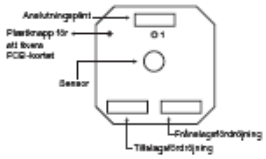
(mm)



KOPPLINGSSCHEMA

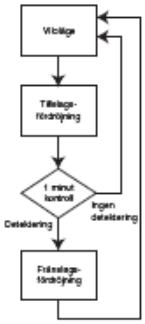


Innan anslutning av kablar, ta loss kretskortet från bakstycket.



1 = vit diod visar om detektorn är aktiverad.
Blinkande diod visar om någon bygel för fördröjningstiderna är borttagen = utanför funktionsområdet.

FUNKTIONSSCHEMA



TILL- OCH FRÅNSLAGSFÖRDRÖJNING

	Till:	Från:
A	0 sek	10 sek
B	10 sek	1 min
C	30 sek	5 min
D	1 min	10 min
E	5 min	20 min
F	10 min	30 min

OBS! Vid ändring av fördröjningstid, bryt alltid spänningen till detektorn.

CALECTRO®

Svalörtsgatan 16 • Box 4113 • 426 04 Västra Frölunda
Telefon: 031-69 53 00/01 • Telefax: 031-29 32 91/69 96 45
info@calectro.se • order@calectro.se • www.calectro.se

Installationsanvisning
för närvarodetektor PIR-TF-25-360

7.11

INSTALLATIONSTIPS:

Detektorns placering

Placera detektorn så att den troliga rörelseriktningen för en inkräktare kommer att vara tvärs igenom ridåerna. Det är lättast för PIR-TF-detektorer att upptäcka rörelser i denna riktning. Undvik tänkbara källor till falsklarm, som t.ex.: direkt solljus, värmeavgivande föremål i detektorns synfält (värmeelement, etc.), rörliga föremål som t.ex. fläktar eller husdjur i detektorns synfält.

Undvik föremål som kan blockera täckningsområdet t.ex. stora möbler, gardiner etc.

INSTALLATION & WALK TEST:

1. Lyft av frontdelen genom att lossa låsskruven. Ta loss kretskortet från bakstycket.
2. Slå sedan ut de passande "knock outs" för skruvhålen och installera bakstycket i taket.
3. Återmontera kretskortet och anslut kablarna.
4. Var noga med att täta alla kabelhål så att damm och insekter inte kan komma in.
5. Återmontera frontdelen, därefter kan "walk test" utföras.
6. **OBS!** Vid ändring av fördröjningstid, bryt alltid spänningen till detektorn.

Walk test

Slå till spänningen och vänta 30 sek. så att detektorn blir varm. Lysdioden blinkar (långa och korta pulser) under uppvärmningstiden. Fördröjningstiderna (TILL- och FRÅN) skall vara satta i läge A (den lägsta/kortaste fördröjningstiden). Efter uppvärmningstiden utförs sedan ett gångprov av hela det detekterande området genom att gå långsamt igenom samtliga avkänningsfält i bevakningsområdet, medan du håller ett öga på gångtestdioden. Lysdioden skall lysa varje gång du bryter ett fält. Låt enheten stabilisera sig under ca två sekunder mellan varje test.

Montering av detektorn:

Monteringshöjd	2.4m	3.0m	3.6m	4.2m
Täckning (dia)	6.0m	7.5m	9.0m	10.5m

Svalörtsgatan 16 • Box 4113 • 426 04 Västra Frölunda
Telefon: 031-69 53 00/01 • Telefax: 031-29 32 91/69 86 45
info@calectro.se • order@calectro.se • www.calectro.se

CALECTRO®