

## **13    Appendiksrapport**

## **Appendiks 1:**

### **Besigtigelsesreferat for Dan-Ejendommens kontorbygning**

## Mødereferat

<b>Titel</b>	Besigtigelse af ejendom	<b>COWI A/S</b>
<b>Dato</b>	Energirigtig bygningsautomation, Fase 1	<b>Parallelvej 2</b>
<b>Sted</b>	25. april 2008	<b>2800 Kongens Lyngby</b>
<b>Deltagere</b>	Dan-Ejendomme, Tuborg Havnevej 9, Hellerup	<b>Telefon 45 97 22 11</b>
	Bjarne W. Olesen - BWO, ICIEE/DTU	<b>Telefax 45 97 22 12</b>
	Henrik Brohus - HB, AAU	<b>www.cowi.dk</b>
	Anders Bang Skjødt - ABS, TAC	
	Reto M. Hummelshøj - RMH, COWI	
	Peter Kaarup Olsen - PKO, COWI	
	Torben Petersen + flere folk fra driften - TP, Dan-Ejendomme	
<b>Referent</b>	PKO, 28. maj 2008	
<b>Fordeling</b>	Alle deltagere	

## 1 Introduktion

Projektgruppen mødtes på driftskontoret hos Dan-Ejendomme. Her blev bygningen, dens installationer og automation samt styringsstrategier beskrevet og drøftet sammen med driftspersonalet. Herefter blev projektgruppen vist rundt i bygningen.

Vedlagt til referat er bilag 1 med eksempler på skærmovervågningsbilleder for ventilationssystemet.

## 2 Bygningsdata

### Ejendom

Adresse:

- Dan-Ejendomme, Tuborg Boulevard 12, 2900 Hellerup

Bygningens alder:

- 5 år (færdigbygget i 2003)

Personbelastning og bygnings brugstid:

- BWO har materiale med info herom.

Vinduesarealer:

- BWO har materiale med info herom.

Termisk masse (udnyttelse heraf):

- Betongulv og trægulv

Tegninger og beskrivelser (bestykning af komponenter på typisk etage):

- BWO har materiale.

Øvrige oplysninger:

- Bygningens samlede etageareal er ca. 12.000 m<sup>2</sup>
- Bygget af NCC i totalentreprise.
- Forskellige lejemål. Dan-Ejendomme har 1.sal, Microsoft har 2. og 4.sal og Regus har 3. sal.

### **Installationer**

Generelt:

- Der er zoneopbygning opdelt pr. etage til styring af indetemperaturen
- Alle kontorer har en føler på væggen med en justeringsmulighed for temperatur. Brugere har mulighed for at justere 3°C.
- Setpunktet for kontorlokalerne er 22-23°C. Hvis denne sættes længere ned er der risiko for trækproblemer. Det er ikke unormalt med 25°C på kontorerne i sommerhalvåret.
- Det er sværest at styre forår og efterår mht. at undgå trækproblemer.
- Køleblæser skal støvsuges hvert andet år for at effektafgivelsen ikke nedsættes
- Kølerør og ventiler har været stoppet til med skidt. Derfor er der blevet installeret delstrømsfiltre?
- Vindpåvirkning på bygningen har direkte betydning for indeklima og temperatur i bygningen

Varmeanlæg:

- Opbygning: Radiatoranlæg ved yderfacader. Alle kontorer mod atrium har ingen varmekilde



#### Ventilation:

- Opbygning: Ventilationsaggregater i kælder. Varmegenvinding med roterende veksler. Køleflader i ventilationssystemer til køling af mødelokaler, kopirum mv. Øvrige kontorlokaler har køleblæser med ventilationsindblæsning.
- Styring/Regulering: VAV styring af møderum, kopirum mm. CAV styring i øvrige kontorlokaler. Mekanisk natkøling fra kl. 24.00 til 6.00, hvis conditionerne er til det.
- CO2 sensorer i udsugning, kun til kontrol måling
- Bilag 1 viser eksempler på skærbilleder fra overvågningssystemet.

#### Køling:

- Opbygning: Kølekompressorer samt frikøling med tørkølere på taget. Kølelevandtemperaturer er for frem / retur 10 / 17°C. Køleflader i ventilationsanlæg kører med 6/8°C.
- Energiforbrug/Delforbrug. Ingen separate målere.

#### Belysning:

- Der er installeret PIR følere

#### Solafskærmning mv.:

- Opbygning: Nogle steder indvendige persienner. Andre steder er der solafskærmning indbygget i dobbelt facaderne. Brugere har mulighed for selv at regulere. Stueetagen har fået lavet udvendige persienner fordi det blev for varmt med indvendige persienner.
- Styring/Regulering: Individuel regulering.

#### **Drift**

##### Bemanding (efteruddannelse/kompetencer):

- 2 varmemestre + 5 gårdmænd

##### Indkøringsperiode for anlæg (længde heraf):

- Ifølge TP tager det 1-2 år at indkøre sådan en ny bygning. Måske ét år hvis der er stort fokus på opgaven. Assistance fra ingeniører eller andre tekniker, som kender til bygningen, er en stor fordel.
- Ellers kan det tage 5 år uden at tingene svinger.

- Aktuelt er der benyttet et halv mandår fra TAC til indkøring - Det er vigtigt at have planlagt midler hertil i byggeprojektet.

Systemer/programmer til regulering:

- Der haves SRO overvågningssystem uden egentlig energistyrings faciliteter.

Mulighed for registrering af forbrug/delforbrug:

- El: Bygningen har én hovedmåler for el og én bimåler for hvert lejemål.
- Fjernvarme: Æn hovedmåler. Varme fordeles efter areal.
- Målerrapporter / grønt regnskab/ ELO rapporter sendes til projektgruppen via BWO.

Ønsker til forbedringer:

- Optimering af styring for solafskærmning. SRO systemet skal kunne sende et automatisk signal til solafskærmningen om at køre ned efter arbejdstid f.eks. kl. 20, således at der afskærms for solen om morgenen og ikke skabes unødigt opvarmning af kontorerne, hvorved der kan spares energi til køling. Det er for svært at få folk til at huske selv at køre solafskærmningen ned inden de går hjem fra arbejde.

## Observationer

Indeklimaproblemer (og håndtering heraf):

- Ingen større problemer har været konstateret
- Kølebafler er generende for nogle af kontorbrugerne, som selv har afdækket disse med tape o. lign. for at undgå kuldnedfald.

Klager fra brugere:

- Driften har kun ca. 2% klager, så bygningsdriften er velfungerende, men. Driften skal tage alle klager til efterretning. Normalt ved bygningsdrift regner man med at 5-10% klager er ok, da det jo er svært at gøre alle tilfredse på sammen, fordi man oplever indeklimaet forskellig eller er forskelligt påklædt. Der rapporteres dog samstemmende om for høje temperaturer og træk fra nordvest facade - manglende klager kan skyldes at man efter en periode har accepteret tingenes uforanderlige tilstand?
- Der er tilfredshed med akustikken (gulve er tæppebelagte).

### **3 Vidensopsamling og diskussion**

#### **Nybyggeri og bygningsinstallationer**

Ifølge ABS er det vigtigt at bygningsautomationsfirmaer (som TAC) og rådgivere involveres så tidligt i et byggeprojekt for at en større bygning og dens installation kan fungere optimalt.

#### **Når bygningslokalerne anvendes anderledes end planlagt**

En udfordring for Driften mht. rumopvarmning og ventilation er at bygningens brugere ikke altid sidder placeret de steder i kontorlokalerne, hvortil det er projekteret.

#### **For mange forskellige systemer til solafskærmning**

For Driften, der har ansvar for flere forskellige bygninger, er det et problem med forskellige systemer for solafskærmninger, der styres forskelligt.

#### **Vigtigt med individuelle styringsmuligheder af indeklimaet**

Vigtigt at bygningens brugere har mulighed for individuel at kunne regulere lidt på rumtemperatur, solafskærmning mv. Det er der en psykologisk effekt i. Det behøver ikke være store regulering intervaller. F.eks. kan det være tilstrækkeligt med +/- 1,5°C i stedet for +/- 3°C.

#### **Godt bygningsautomationsdesign spares ofte væk**

TP fortalte at han for ca. 8 år siden i samarbejde med COWI havde udarbejdet en standard beskrivelse for godt design af bygningsautomation. Denne beskrivelse skulle bruges til at give anbefalinger i forbindelse med projektering af nybyggeri i Tuborg Havn området, men erfaringen er at mange gode løsninger (med overvågnings- og styringsmuligheder for driftspersonalet) bliver ofte sparet væk i byggeprocessen.

#### 4 Billeder



*Besigtigelse af kontorlokaler og installationer i kælder*



*Besigtigelse af indvendigt atrium og udvendig facade*

## **Appendiks 2:**

### **Besigtigelsesreferat for Københavns Energis kontorbygning**

<b>Mødereferat</b>	Besigtigelse af ejendom	<b>COWI A/S</b>
<b>Titel</b>	Energirigtig bygningsautomation, Fase 1	<b>Parallelvej 2</b>
<b>Dato</b>	09. juni 2008	<b>2800 Kongens Lyngby</b>
<b>Sted</b>	Københavns Energi (KE) Ørestads Boulevard 35, 2300 København S	<b>Telefon 45 97 22 11</b>
<b>Deltagere</b>	Henrik Brohus - HB, AAU Peter Giliamsen - PG, TAC Reto M. Hummelshøj - RMH, COWI Peter Kaarup Olsen - PKO, COWI Allan S. Bendtsen - AB, KE Ejendomme & Services	<b>Telefax 45 97 22 12</b>
<b>Referent</b>	PKO, 25. juni 2008	<b>www.cowi.dk</b>
<b>Fordeling</b>	Alle deltagere + Bjarne W. Olesen (ICIEE/DTU) + Anders Bang Skjødt (TAC)	

## 1 Introduktion

Projektgruppen mødtes med Allan Bendtsen, som er ansvarlig for bygningsdriften hos KE. Først blev bygningen, anlæg/systemer, styring/regulering, energiforbrug, erfaringer med indeklimaet og lignende drøftet. Herefter blev projektgruppen vist rundt dels i selve bygningen og dels i rum med tekniske anlæg.

## 2 Bygningsdata

Bygningsbeskrivelse inkl. beskrivelse af installationer og bygningsdrift fremsendes af AB til projektgruppen.

### Ejendom

Adresse:

- Københavns Energi A/S, Ørestads Boulevard 35, 2300 København S

Bygningens alder:

- 3,5 år (færdigbygget 1. januar 2005)

Personbelastning og bygnings brugstid:

- I øjeblikket ca. 550 personer, men bygget til 675 personer
- Den almene brugstid er fra kl. 7 til kl. 17, men der er reelt er der personale i bygningen i tidsrummet kl. 5-22 (24) pga. vagtservice for gas, vandforsy-

ning (sprungne rør) mv. Der er tale om relativt få personer, som er i bygningen efter kl. 17, men de holder en del belysning mv. i gang.

Vinduesarealer:

- Ca. 40% vinduesareal i forhold til facade

Termisk masse (udnyttelse heraf):

- Trægulv direkte på 1-2 cm afretningslag og isolering

Tegninger og beskrivelser (bestykning af komponenter på typisk etage):

- HB har materiale.
- 3,2 m's rumhøjde
- Bygningens samlede etageareal er ca. 16.000 m<sup>2</sup>
- Nettoarealet svarer til 9-11 m<sup>2</sup>/medarbejder (minimumskravet er 7 m<sup>2</sup>)
- 4 ½ etages bygning. Højden var begrænset af lokalplan.
- Både åbne kontorlokaler og mindre rum (bl.a. til møder) på hver etage, 1. - 4. sal.
- Teknik/toilet kerner opbygget af gips/beton vægge.
- Det tomme nordvendte kontorlokale, hvor vi holdte møde, har ca. 67 kontorarbejdspladser til en lyszone.

Øvrige oplysninger:

- Bygherre var Sjælsø Gruppen med KPC som entreprenør. PLH-arkitekterne har tegnet bygningen. Projekterende ingeniør blev skiftet ud undervejs.
- I forbindelse med projektering af bygningen blev byggebudgettet reduceret, hvilket bl.a. gik udover omfanget af bygningsinstallationerne.
- PFA ejer nu huset og lejer det ud til KE og Niras. KE har ansvaret for bygningsdriften.
- Forskellige lejemål. Niras lejer 1.sal. Stort set resten af bygningen lejes af KE, som har en 10 års uopsigelig lejeaftale.
- Ingen bygningsbeskrivelse inkl. beskrivelse af installationer er blevet leveret til bygningsbrugeren.

## Installationer

### Generelt:

- Bygningen har sprinkleranlæg i alle rum.

### Varmeanlæg:

- Opbygning: Radiatoranlæg ved yderfacader.
- Varmesystem er (zone)opdelt efter facadeorientering. Der er tre blandesløjfer: Én for vestlig del af bygning. Én for syd. Og én for nord + øst.
- AB ville gerne have haft en separat blandesløjfe for den nordlige del af bygningen. Der har været problemer med kulde bl.a. fordi der ikke akkumuleres varme fra solindfald.
- Kun støtteopvarmning i atrium

### Ventilation:

- Opbygning: Ventilationsaggregater i kælder. Varmegenvinding med roterende veksler .
- Krydsveklser til ventilation af kantine (emhætte)
- Krydsveklser til ventilation af kælder
- Separat udsugning til opvaskemaskine.
- Mekanisk ventilation med køling på stueetage. Da det tomme nordvendte kontorlokale med 67 pladser var i drift, var den mekaniske ventilation skruet ned på et minimum: 10% grundventilation.
- Resten af bygningen med undtagelse af kantine og kælder ventileres vha. naturlig ventilation.
- Naturlig ventilation om vinteren sker i 2 minutter per time. Hele året (når forholdene er til det) haves tvangsudluftning om morgenen. Hhv. kl. 5 og 6.
- Indblæsning med Trox hvirvel-diffusere samt ventilationsposer (stueetage)
- Mekanisk udsugning i teknik/toilet kerner. Teknikrum inkludere printere mv.
- Opblandingsarmaturer



- Stille-rum på 1-4. sal får kun en anelse friskluft (hvilket er for lidt).
- Et WindowMaster system styrer åbninger for den naturlige ventilation. Systemet tager højde for vindretning. Vindretningen har direkte betydning for indeklima og temperatur i bygningen

#### Køling:

- Opbygning: Ammoniak anlæg. Komfortkøling med kølekompressorer samt supplerende frikøling med tørkølere på bygningens tag. Kølevandtemperaturer er for frem / retur 12 / 17°C.
- Energiforbrug/Delforbrug. Ingen separate målere.
- Køleanlægget er kraftigt overdimensioneret. Det kører sjældent over 50% af maks. kapaciteten. Anlægget er forberedt på bygningsudvidelse.
- Komfortkøling er i drift maj til og med september. Når udetemperaturen er over 13°C
- Bygnings kælder er der placeret et stort antal servere, som kræver en stor mængde køling. Kølign luft indblæses i serverrum. Der er ingen genvinding af overskudsvarme fra serverrummet. Ved besigtigelsen blev det konkluderet at der køles mere end rigeligt i serverrummet. En højere temperatur kan accepteres, hvorved køleforbruget kan reduceres
- Kun støtte-køling i atrium

#### Belysning:

- Der er installeret PIR følere. Kan måle 5-6 meter i diameter.
- Der er generelt installeret for meget loftsllys. Reguleringsmuligheder mangler.
- Tidligere var der dagslysstyring på de 2 yderste rækker lysarmaturer. Nu er lyset tændt fra kl. 7-17 med 70% 's styrke. Dagslysstyring vurderet til at være for dyrt.
- Atrium lys er slukket.
- I kontorlokaler i stueetagen er der sammenhængende lysarmaturer pr. 1,8 m. Der er ca. 18 armaturer pr. 40 m<sup>2</sup>. Med et forbrug pr. armatur på 28W samt 2W til spole er elforbruget 13,5 W/m<sup>2</sup> svarende til ca. 49 kWh/m<sup>2</sup>/år.

#### Solafskærmning og solceller:

- Ingen fælles automatik. Regulering sker manuelt pr. vindue.
- 85% af solafskærmningen er persiener placeret indvendigt i vinduer

- 15% af solafskærmningen er udvendig dug (kun vestfacade)
- Styring/Regulering: Individuel regulering, helt manuel. Persienerne er altid nede (støj undgås), men hældningen kan vippes / justeres.
- Vestfacaden har i øvrigt permanent solafskærmning i form af paneler med solceller. De installerede solceller har kun en minimal elproduktion i forhold til bygningens samlede elforbrug, så deres funktion er nærmere at "gøre reklame" for vedvarende energi. Solpanelerne skal afvaskes én gang årligt. Ifølge AB kommer der gult bremsestøv fra metrogene, som kører lige forbi bygningen.

#### CTS-anlæg:

- Forår og efterår er sværest at styre mht. passende indetemperatur og for at undgå trækproblemer. I foråret er der meget solindfald, men udeluften er kold, så automatikken henviser til at der ikke skal åbnes for naturlig ventilation. Tagvinduerne kan heller ikke åbne, hvis det regner (for meget), hvilket resulterer i et for lille luftskifte.
- Automatik fungerer nu.

#### Drift

##### Bemanding (efteruddannelse/kompetencer):

- P.t. er der 3 viceværter, hvoraf én er faglært (Allan Bendtsen). Planen er at komme op på i alt 5 viceværter. Reelt arbejde vedr. drift af bygningen kræver kun mand, men driftspersonalet skal også passe døgnvagtstationen, som tager imod eksterne henvendelser vedr. sprungne vandvær osv.

##### Indkøringsperiode for anlæg (længde heraf):

- Ifølge AB har det taget ca. 2 år at indkøre bygningen

##### Systemer/programmer til regulering:

- Der haves Honeywell Inside

##### Mulighed for registrering af forbrug/delforbrug:

- El: Bygningen har én hovedmåler og to bimålere pr. etage samt én bimåler for serverrummet i kælderen.
- Fjernvarme: Èn hovedmåler. Varme fordeles efter areal.
- Vand: Èn hovedmåler. Vandforbrug opgøres efter areal
- Målerapporter / grønt regnskab/ ELO rapporter sendes til projektgruppen via BWO.

- Ifølge ELO-rapporten er varme- og vandforbruget acceptabelt, men elforbruget ligger i den høje ende af skalaen (forbrug pr. kvadratmeter).

Målt årsforbrug (2007):

- El: 1700 MWh (106 kWh/m<sup>2</sup>), hvoraf 325 MWh går til køling (servere og komfort). Det vurderes at 50% elforbruget går til belysning, 20% til køling (servere+komfort) og 30% til øvrigt elforbrug.
- Fjernvarme: 954 MWh (60 kWh/m<sup>2</sup>), 16741 m<sup>3</sup>, gennemsnitsafkøling ca. 49°K.
- Vand: 3877 m<sup>3</sup>, hvoraf 556 m<sup>3</sup> til varmt brugsvand

Ønsker til forbedringer:

- Mulighed for større luftskifte i møderum
- Bedre styring / opdeling af loftsllys
- Lysdæmpning af lysarmaturer i Atrium
- Separat måling af elforbrug til belysning, computere, ventilation og køling

### Observationer

Indeklimaproblemer (og håndtering heraf):

- Ingen større problemer har været konstateret

Bygningsfejl:

- Der er konstateret et problem med utætte vinduer og yderdøre i glasfacaden (H S Hansen). De bliver skæve pga. vægt og størrelse. Ramme for tynd i forhold til vindue/dør størrelse. Desuden mangler der isolering i rammen.
- Revner i vægge
- Dårlige gulve i atrium (marmor revner)
- Vinduer i facade forsætter nogle steder op over nedsænket loft

Vedligeholdelse:

- Nogle steder i bygningen (stueetagen) er der åbent nedhængt loft bestående af et net/gitter i zink (stræk-metal). Støv og snavs drysser ned igennem dette loft.

- De synlige kabelbakker i loftet med loftsløslarmaturer i bunden samler støv og skal rengøres årligt.

Klager fra brugere:

- Træk fra vinduesåbninger for den naturlige ventilation.
- Støj ind på de åbne etager. Der har været tre klager i år (på 5 måneder). Man har som forsøg et par steder opsat mobile støjabsorberende vægge (ca. 1,5 m's højde) på en etage ud imod atriummet.
- Der har været for køligt mod i kontorlokaler mod nord. Specielt i stueetagen.
- En del tilvending til de nuværende forhold må dog formodes.

Andet:

- Stræk-metal lofter er ikke så behageligt at kigge på. Det "flimrer" (interferens), når man kigger på det, specielt ved trapper.

### 3 Vidensopsamling og diskussion

Fremtidig automatik løsning:

- PG fortalte om fordelene ved trådløse automatik løsninger, der kan bruges til styring af belysning mv. Rækkevidden er ca. 30 m ved betonkonstruktioner og ca. 100 m ved lette vægge.

### 4 Billeder



*Den besigtigede KE ejendom set fra sydvest.*



*Et tomt kontor i stueetagen illustrerer tydeligt at bygningen har installeret masser af loftsbelysning med ringe mulighed for regulering (til venstre). Bygningens vestfacade har integreret solceller i den ydre solafskærmning (til højre). Bemærk strækmetal-loftet. Isolering er klæbet på underside af betondæk.*



*Atrium i midten af bygningen med frie åbninger ind til hver etage og oplukkelige ovenlysvinduer i taget (til venstre). Et stort antal servere placeret i bygningens kælder køles via indblæsning i gulv (til højre).*

## **Appendiks 3:**

### **BSim analyse af Dan-Ejendommens kontorbygning**

# Indoor Climate and Energy Analysis of an Office

---

**G.Stankevica**

*Technical University of Denmark*

*International Centre for Indoor Environment and Energy*

*Department of Civil Engineering*

*Building 402, DK-2800, Kgs.Lyngby, Denmark*

*Email: [Galina.Stankevica@rtu.lv](mailto:Galina.Stankevica@rtu.lv)*

## **Abstract**

This paper describes the evaluation of HVAC system according to the two different temperature control ranges, i.e. 21.0-23.0°C and 20.0-25.0°C, in an office building in Hellerup, Denmark. The building performance is investigated in terms of indoor climate and energy use. In order to calculate and analyze the indoor climate conditions, power demand and energy consumption, the building simulation software BSim was used. The model was built up for the 1<sup>st</sup> floor of the building. The dynamic simulation period was set to be from January to December, 2008 that includes the period of nine months, when the detailed measurements of carbon dioxide, relative humidity and room temperature were carried out. The larger temperature control range lead to the energy savings, e.g. the higher set point for cooling, i.e. 25°C instead of 23°C decreased the energy use for cooling up to 50%. The operative temperature was influenced not only by the heating and cooling systems set points, but also by the orientation of the building and internal heat loads, e.g. from equipment and lighting.

Key Words: Indoor Climate, Energy Consumption, Dynamic Building Simulation, BSim, Thermal Comfort, HVAC System

## Introduction

For the last few decades an increased attention has been directed towards efficient energy use. Moreover, the European Union's directives were introduced in order to classify the buildings in accordance with their energy consumption, determining also the value of the building. Therefore the dynamic building simulation programs have become very important tools in performing energy and indoor climate audit of any building project. BSim is one of the many simulation programs available on the market and is used for calculating and analyzing indoor climate conditions and energy consumption in buildings.

The energy performance of the building depends not only on the construction materials and chosen building services' solutions, but also on the scale of the automation, especially of the HVAC systems. The control is of great importance in terms of the energy use, e.g. the appropriate control could lead to significant energy savings. It is also one of the key parameters in achieving a comfortable indoor environment to stay and work in.

## Objective

The main objective of this work is to analyze the office building performance in terms of indoor climate and energy use, based on two different temperature control ranges.

## Methodology

In order to analyze the energy performance and indoor climate of the building, the dynamic building simulation software BSim was used. It was decided to build up a model and simulate only the 1<sup>st</sup> floor of the building, assuming that the similar indoor conditions would be representative also for the other floors, where offices are located. The model was later calibrated as base having the detailed measurements of indoor climate parameters such as air temperature, relative humidity etc. and the real energy consumption of the building. Thus the model reproduced the original indoor conditions in the building.

The measurements recorded by HOBO loggers were carried out between February and October, 2008 including more detailed snapshots for the 6<sup>th</sup> March and 11<sup>th</sup> September (see separate report on measurements). However, the dynamic simulation period was chosen to be from January until December, 2008 so that all of the seasonal changes could be reflected. Later some key variables of the model such as heating and cooling system set points were changed in order to evaluate the performance of the HVAC system in terms of energy consumption and indoor climate. The building is what we call a BETA building with mechanical ventilation and cooling, where the room temperature is controlled within relative narrow limits and people do not have any individual control (open windows or thermostat). In an ALFA building (only with natural ventilation and opening of windows) the indoor temperature variation over a day would be higher than in a BETA building. To simulate the difference between an ALFA and a BETA building two types of control concepts were introduced. BETA corresponds to the building with very narrow temperature control range of 2 K, i.e. 21-23°C. In the other words, the heating system stops when the air temperature indoors is 21°C and cooling starts when temperature exceeds the value of 23°C. On the contrary, ALFA has a large control magnitude of 5 K, corresponding to the temperature interval of 20-25°C. So in contrast to a "real" ALFA building the simulated ALFA building did still have mechanical ventilation and cooling, but a wider control range was introduced.



The indoor climate was defined only by means of operative temperature. Thus the investigation of the other indoor climate parameters such as relative humidity and CO<sub>2</sub> concentration etc. are out of the scope of this study.

## Building Description

The building Tuborg Nord is located north of Copenhagen, in the urban area of Hellerup, Denmark. The five-storey building with a basement was built and commissioned in 2002. The total area of the building according to the Danish Building register is 21199 m<sup>2</sup> of which 18726 m<sup>2</sup> is heated [1]. The building has also a large heated atrium (see Figure 1).



Figure 1: Spatial view of Tuborg Nord

The Figure 2 shows the external views of the building, i.e. west, south, east and north facades, respectively.



Figure 2: Facades of the building [1]

The west facade is oriented 31° from west towards south, the south facade - 15° from south towards east, the east facade - 15° from east towards north and the north-west facade - 35° from north towards west [1].

The building has three tenants, i.e. Dan-Ejendomme, MicroSoft and Regus that occupy 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> and 4<sup>th</sup>, and 3<sup>rd</sup> floors, respectively. The main types of facilities are the meeting rooms, open-plan offices and smaller private offices. The kitchen with canteen as well as some Dan-Ejendomme facilities and education rooms for MicroSoft Corporation are located in the ground floor [1].

The internal view of the building is shown in Figure 3.



Figure 3: Atrium [1]

## Building Envelope

The material properties of constructions were found from the technical drawings of the building and available documentation of the project Tuborg Boulevard 12. Since the simulation was carried out only for one floor of the building, the following chapter is focused more on information regarding the 1<sup>st</sup> floor.

The main part of the building envelope consists of four types of glazing that are listed in a Table 1.

Glazing Type	Structure			U value [W/m <sup>2</sup> K]
	External	Filling	Internal	
Transparent Glazing in the Facade	6(8) mm Stopray Elite 67/37	14(16) mm Argon	4(6) mm clear float	1.12
Opaque Glazing in the Facade	6 mm hardened float	14 mm air	6 mm hardened glass with enamel on side 4	2.8
Transparent Glazing in the roof (skylight)	6 mm silver 43/25	15 mm Argon	6 mm safety glass	1.12
Transparent Glazing facing the Atrium	6 mm clear float	14 mm air	4 mm laminated clear float	2.8

Table 1: Glazing types [1]

The other building constructions including internal walls and floors are given in a Table 2.

Type	Structure		Description
	Material	Thickness, mm	
External wall	Natural Stone	30	-
	Ventilated Air Gap	20	
	Mineral Wool	150	
	Concrete	200	
Internal wall	Concrete	200	Bearing construction (technical rooms, staircases)
Internal wall	Plasterboard	120	-
Internal wall	Plasterboard	145	-
Internal wall	Plasterboard	95	-
Internal floor	Carpet and screed	50	Offices
	Concrete slab	265	
Internal floor	Tiles and screed	50	Toilets
	Concrete slab	265	

Table 2: Internal and external constructions

## Installations

### Heating and Cooling System

The heat is provided via the district heating grid. The space heating in the working areas, i.e. offices is supplied by means of radiators that are located along the facades of the building. The atrium is heated by a combination of a radiant floor heating system and convectors (ribbed heating tubes) assembled under the skylight in order to prevent the downdraft (see Figure 4).



Figure 4: Convectors in the atrium area under the skylight [1]

Moreover, during the cold winter periods, the additional heating can be supplied by means of the ventilation air system [1]. The building has a high thermal gain due to the external temperature and solar radiation. Thus the cooling of building is provided by means of two cooling systems that are located in the basement. The larger system with a nominal

capacity of 730 kW and designed temperatures of 6/12°C cools water in the cooling coils of the ventilation systems. The smaller system with a nominal capacity of 225 kW and designed temperatures of 15/18°C cools water in the chilled beams located in the ceiling in the workspaces (see Figure 5).



Figure 5: Chilled beams in the office area of the Tuborg Nord [1]

The cooling systems are connected to four dry coolers located at the south part of the roof (see Figure 1). It is also possible to use the “free cooling” when the ambient temperature drops below a certain limit, so that there is no need to start the compressors [1].

### Ventilation system

The air change in the building is provided by 11 ventilation systems that are all located in the basement. The detailed description of ventilation systems in the building is given in a Table 3.

Ventilation System	Fresh air [m <sup>3</sup> /h]	Exhaust air [m <sup>3</sup> /h]	Main function
Vent1	25,600	25,600	Conditioning of office spaces
Vent2	27,600	27,600	Conditioning of office spaces
Vent3	25,600	25,600	Conditioning of office spaces
Vent4	19,370	13,440	Conditioning and exhaust of kitchen and canteen
Vent5	-	2 x 20,000	Air circulation in parking space in the basement
Vent6	-	4,000/8,000	Exhaust from the room with the refrigeration plants
Vent7	N/A	N/A	Conditioning of education room on the first floor located at the South end of the building
UDS1	-	2,270	Exhaust from toilets
UDS2	-	2,270	Exhaust from toilets
UDS3	-	2,270	Exhaust from toilets
UDS4	-	6,575	Exhaust hoods in the kitchen

Table 3: Characteristics of the ventilation systems in the building [1]

Vent1-3 and Vent7 have all heat recovery units with a rotating wheel. The heat recovery in Vent4 is achieved using fluid clutched batteries. All of these systems have also a cooling coil for conditioning the fresh air in order to prevent the building from overheating [1].

The conditioning of the working areas, i.e. offices is achieved via the balanced Vent1, Vent2 and Vent3 systems where each serves approximately one third of the office area in the building as indicated in Figure 6.

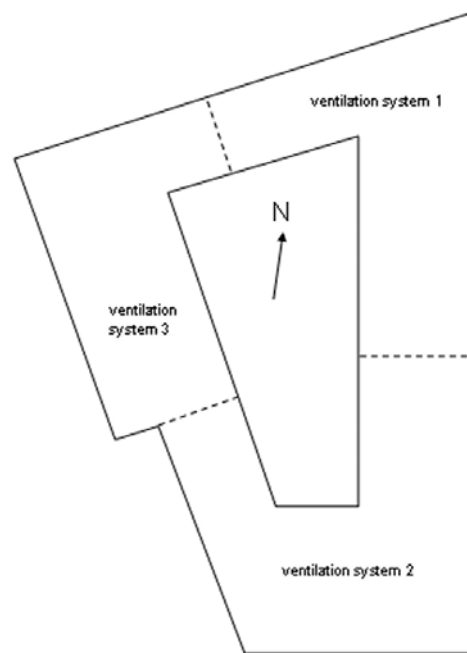


Figure 6: The vertical division of the building for Vent 1-3 [1]

### Other Systems (Lighting and Solar Shading)

The lighting is achieved by a combination of the daylight and artificial lights (general and task lighting). During the building design stage it was assumed that the thermal load for artificial lighting in offices was  $15 \text{ W/m}^2$  and in areas with special lighting purposes such as a canteen, foyer etc.  $30 \text{ W/m}^2$  [1].

The solar shading is provided by means of internal Venetian blinds with two different slat widths, i.e. the transparent glazing in the facades - 0.8 mm and windows - 0.35 mm. The curtains are also installed under the skylight in the atrium area (see Figure 4).

### BSim

BSim is a flexible computer program for calculating and analyzing indoor climate conditions, power demand and energy consumption in buildings. The geometric description of the building model was constructed using SimDXF application. This tool allowed importing the CAD drawings in DXF-format as a base for creating the model of the 1<sup>st</sup> floor that was further edited by attaching constructions, adding the systems etc. The 3D model of the 1<sup>st</sup> floor is presented in Figure 7.



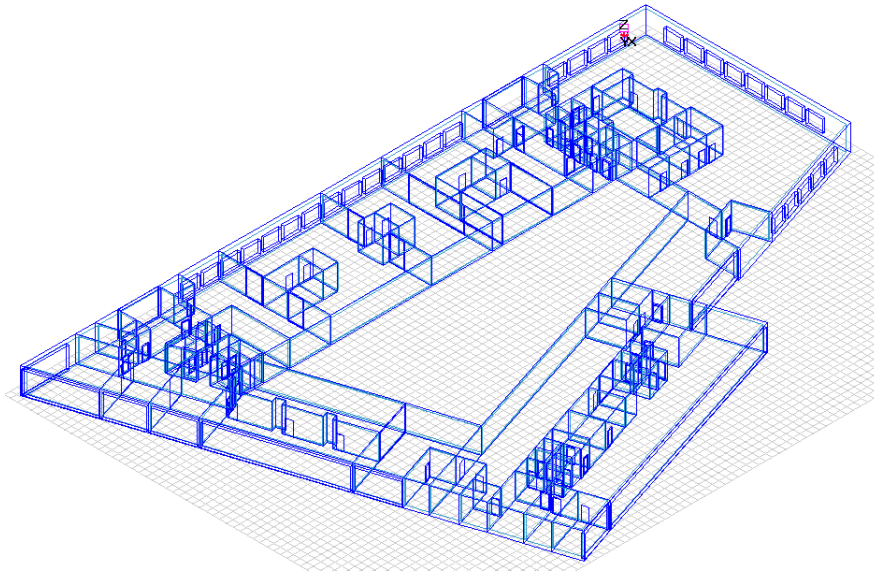


Figure 7: Bsim model of the 1st floor

The floor plan of the 1<sup>st</sup> floor is given in the Figure 8.

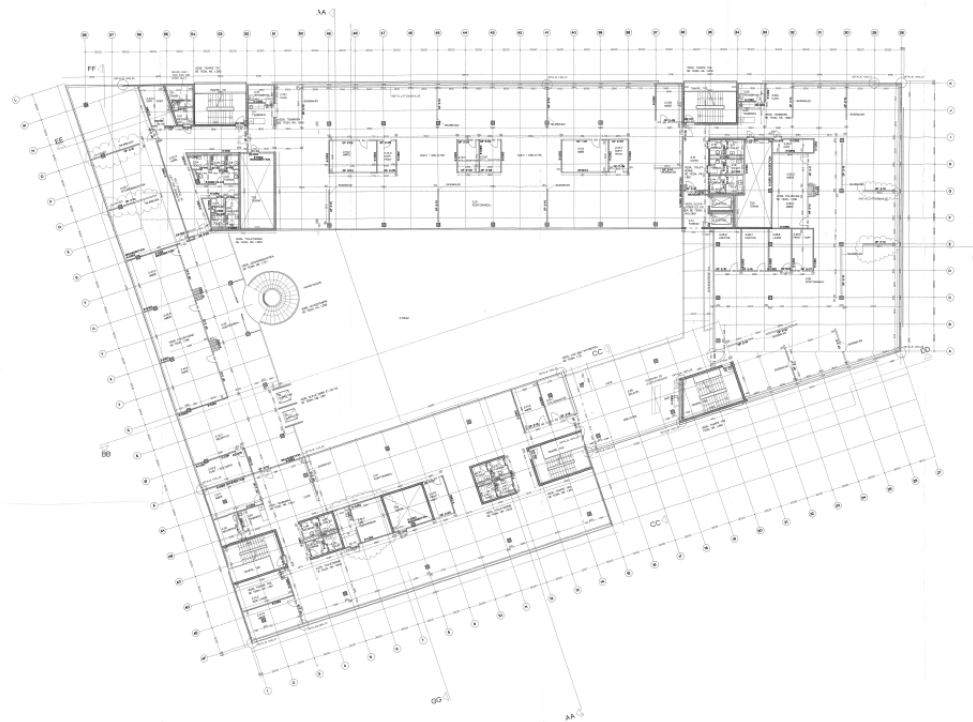


Figure 8: The floor plan of the 1<sup>st</sup> floor

The simulation of the 1<sup>st</sup> floor was carried out for the period of 1 year, i.e. 1<sup>st</sup> January – 31<sup>st</sup> December, 2008. The winter (heating) period was assumed to be from the week 1-14 (1<sup>st</sup> January – 5<sup>th</sup> April) and week 40-53 (28<sup>th</sup> September – 31<sup>st</sup> December). The summer (cooling) period corresponded to the week 15-39 (6<sup>th</sup> April – 27<sup>th</sup> September).

## Thermal Zones Distribution

The 1<sup>st</sup> floor was divided in three zones, corresponding to the ventilation systems 1, 2 and 3 as it can be seen in Figure 9.

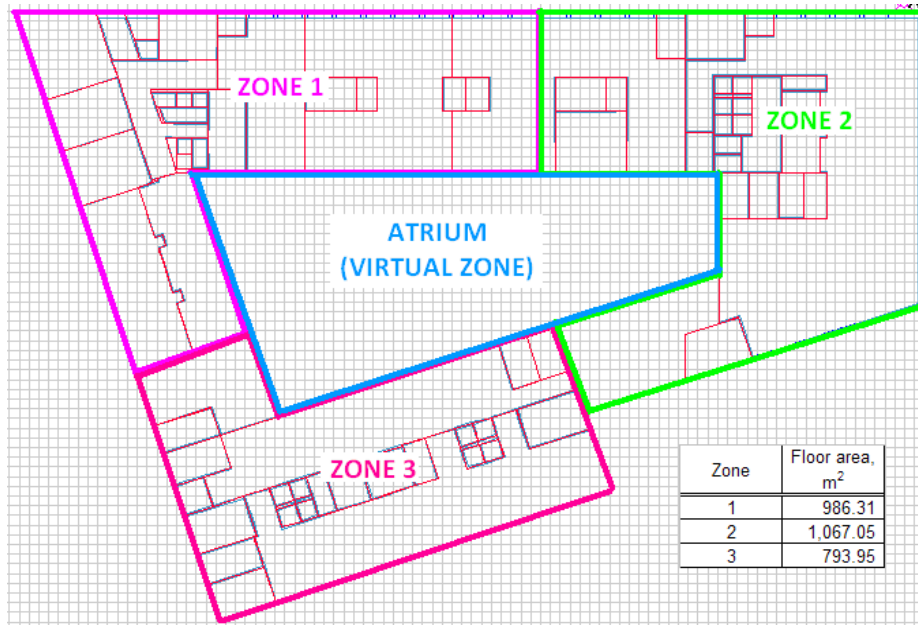


Figure 9: Zone distribution in BSim

The atrium, facing the three real thermal zones, was considered as a virtual zone with a given temperature variation. It was also decided to exclude bathrooms and toilets from the thermal zones 1, 2 and 3 as these premises have only mechanical exhaust ventilation system (see Table 3). However, since these spaces also influence conditions in thermal zones 1, 2 and 3, it was needed to attach them to their own thermal zones.

## Input in BSim

### People Load

The number of building occupants on the 1<sup>st</sup> floor was calculated, assuming that there are 0.7 people per 10 m<sup>2</sup> of floor area. It was also assumed that the person has a medium activity of 1.2 met and clothing factor of 1 clo, which corresponds to the typical winter clothing type. The total number of people calculated for the 1<sup>st</sup> floor was 200 persons. According to [2] 124 people from the 1<sup>st</sup> floor fulfilled the questionnaire regarding the indoor environment, thus the calculated number of 200 people could be quite representative.

The working hours were assumed to be normally from 8.00-17.00 (Monday-Friday). It was also assumed that 10% of people (20 persons) work overtime from 17.00-24.00 during the weekdays and from 8.00-17.00 on Saturdays.

### Equipment

According to [3] the internal heat gains from typical office equipment such as printers, copiers, PCs etc. is usually in a range of 6.0 W/m<sup>2</sup> ± 25%. Thus the calculated equipment load for 1<sup>st</sup> floor is 17.1 kW ± 4.25 kW. It was assumed that

equipment was switched on only when people were present. Therefore during the overtime only 10% of equipment was fully turned on.

### Lighting

According to [4] the maintained luminance at working areas for offices is 500 lux. The artificial lighting consists of the task lighting (energy saving light bulb of 20 W per person), that is on during all the hours within the time definitions in the schedule, and general lighting. The general lighting for office spaces is usually round  $10.0 \text{ W/m}^2$  [5]. Since the most commonly used type of lights in the office buildings are the fluorescent light bulbs, it was decided to use them also in the present model. Since there is no information available regarding the automatic control of the lighting system, e.g. if the motion sensors are used etc., it was assumed that the artificial lighting was controlled manually, when people were present in the office.

### Infiltration

The infiltration appears when the outdoor air flows into the thermal zone through the leakages in the building envelope etc. The basic air change was assumed to be  $0.14 \text{ h}^{-1}$  and thus was the highest when the building was in operation, because people were opening the doors, windows etc. The reduction of the air change by 30% was assumed outside the working hours.

### Solar Shading

The solar shading is in a form of internal Venetian blinds with two different slat widths, i.e. transparent glazing in the facades - 0.8 mm and windows - 0.35 mm. It was assumed that the control of the solar shading devices was implemented by manual adjustment of the blinds. The input value for the shading coefficient was 0.7.

### Heating

The winter (heating) period was assumed to be from the week 1-14 (1<sup>st</sup> January – 5<sup>th</sup> April) and week 40-53 (28<sup>th</sup> September – 31<sup>st</sup> December). The set point for the heating system was  $21^\circ\text{C}$  for the BETA and  $20^\circ\text{C}$  for ALFA case. The control curve of the heating system for both cases is the same and is given in Figure 10.

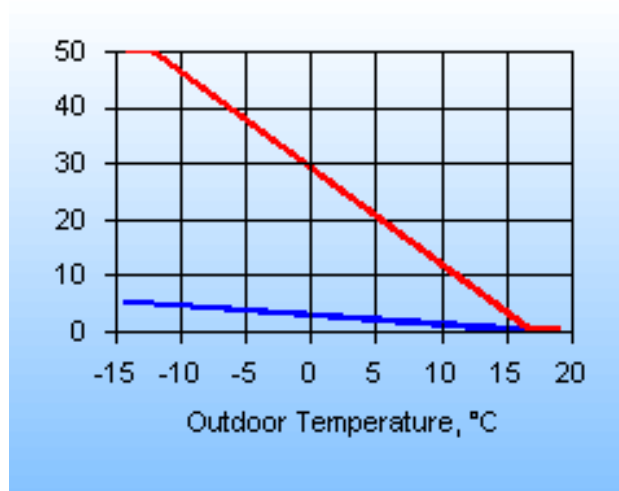


Figure 10: Control curve for the heating system



The design outdoor temperature was  $-12^{\circ}\text{C}$ . Thus the system is running its maximum available power, i.e.  $50 \text{ W/m}^2$  when the outdoor temperature is equal or below  $-12^{\circ}\text{C}$ . The heating stops when the outdoor temperature is equal or higher than  $17^{\circ}\text{C}$ .

During the unoccupied periods, i.e. nights and weekends, the heating system has a set-back of  $3^{\circ}\text{C}$ . The control of the set-back is achieved in a way that the system is able to reach the desired set point, when the working day starts.

### Mixing

The toilets have only the mechanical exhaust system with the air flow of  $15 \text{ l/s}$  [6]. Therefore, the mixing takes place between the real thermal zones 1, 2 and 3 and separate thermal zones of toilets, in order to achieve the air balance in the floor.

### Ventilation

All of the three thermal zones have balanced ventilation systems. As the air flows found in the building documentation (see Table 3) were given for the entire building, it was not possible to correlate them to the each separate floor. Thus the necessary ventilation rates were calculated according to the Eq.1 given in [4].

$$q_{\text{tot}} = n \cdot q_p + A \cdot q_B \quad (1)$$

Where:  $q_{\text{tot}}$  – total ventilation rate of the room,  $\text{l/s}$   $n$  - design value for the number of persons  
 $q_p$  – ventilation rate for occupancy per person,  $\text{l/s pers}$   $A$  – room floor area,  $\text{m}^2$   
 $q_B$  – ventilation rate for emissions from building,  $\text{l/s m}^2$

The ventilation rate was calculated for category A ( $q_p$  is  $10 \text{ l/s}$  per person and  $q_B$  is  $1 \text{ l/s}$  per  $\text{m}^2$  of floor area). The calculated ventilation rates are:  $1.68 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $1.82 \text{ m}^3/\text{s}$  and  $1.35 \text{ m}^3/\text{s}$  for thermal zones 1, 2 and 3 respectively.

Pressure rise in the supply air system was assumed to be  $800 \text{ Pa}$ . Since the exhaust system has fewer components, the pressure loss was assumed to be  $100 \text{ Pa}$  smaller than for the supply system.

It was assumed that the ventilation system was controlled using the Variable Air Volume (VAV) control, because the floor had relatively high cooling demand. The VAV control was specified both for the winter (heating) and summer (cooling) periods. The maximum power of the cooling coil was assumed to be  $50 \text{ W/m}^2$ . The set points for cooling system were  $23^{\circ}\text{C}$  and  $25^{\circ}\text{C}$  for BETA and ALFA cases respectively. The set point of the indoor air for VAV control was set to be  $1^{\circ}\text{C}$  lower than the set point for the heating system, i.e.  $21^{\circ}\text{C}$  and  $20^{\circ}\text{C}$  for BETA and ALFA cases. This was done for the reason that the heating should be achieved by traditional radiator system and not by ventilation air system. The night cooling control was also used in order to reduce the need for mechanical cooling during the summer months. It was also assumed that no humidification system is installed and the fresh air source was the outdoor environment.

## Results and Discussion

### Energy Performance

The primary energy consumption of all three zones is given in a Figure 11.

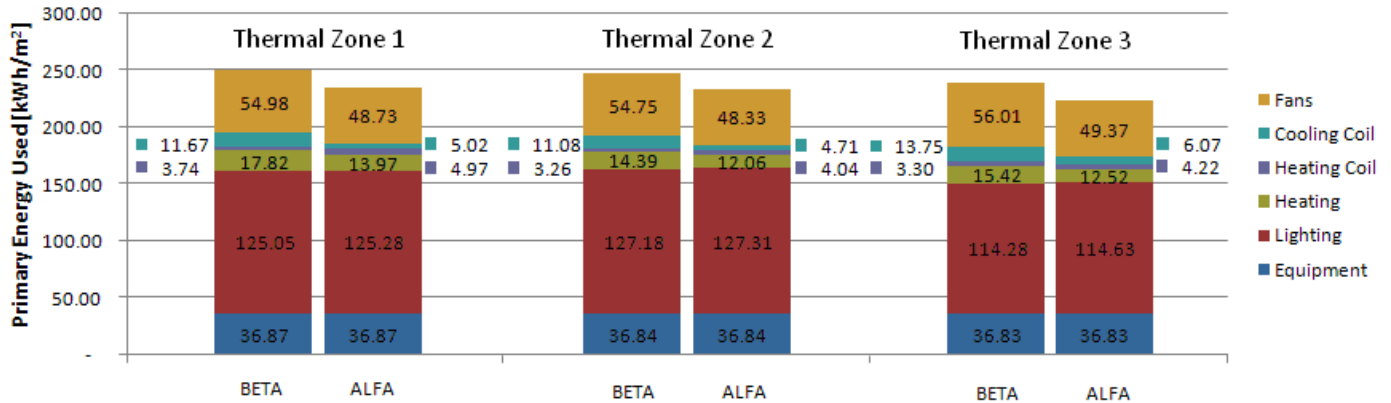


Figure 11: Annual primary energy consumption of Thermal Zone 1, 2 and 3 for temperature control concepts ALFA and BETA

The electricity consumption in a building was weighted by a factor of 2.5 in relation to energy limits compared to heat consumption. As it can be seen in Figure 11, the highest amount of energy is used for lighting purposes. Since this value is very high compared to the similar office buildings, the assumption that energy used for general lighting is 10 W/m<sup>2</sup> and task lighting 20 W per person, leads to significant overestimations.

The differences in energy consumption between two cases appear only in terms of HVAC system, as the cooling and heating set points vary. Set point for cooling system in ALFA case was 2°C higher than in BETA case. Therefore the energy used for operation of cooling coil in ALFA case is more than 50% smaller since there is a smaller difference in the outdoor and indoor (set-point) temperatures. Moreover, the ALFA case has also a greater potential of using the advantage of night cooling because of the larger difference in the outdoor and indoor temperatures compared to BETA case. Thus energy savings are achieved due to the fact that need for mechanical cooling by means of a cooling coil is substantially reduced, or, in the other words, peaks are cut. The energy consumption for heating purposes is slightly higher in BETA case just due to the 1°C difference in set points for heating systems.

The Thermal zone 1 is oriented north and therefore there is a higher energy demand for heating. In addition, this zone has also larger glazing area in the facades compared to the Thermal zones 2 and 3. Thus heating demand is also increased due to the transmission losses through the building envelope. On the contrary, the cooling demand is slightly lower due to the smaller heat gains from the solar radiation.

The energy demand for heating and cooling purposes is given in Figure 12.

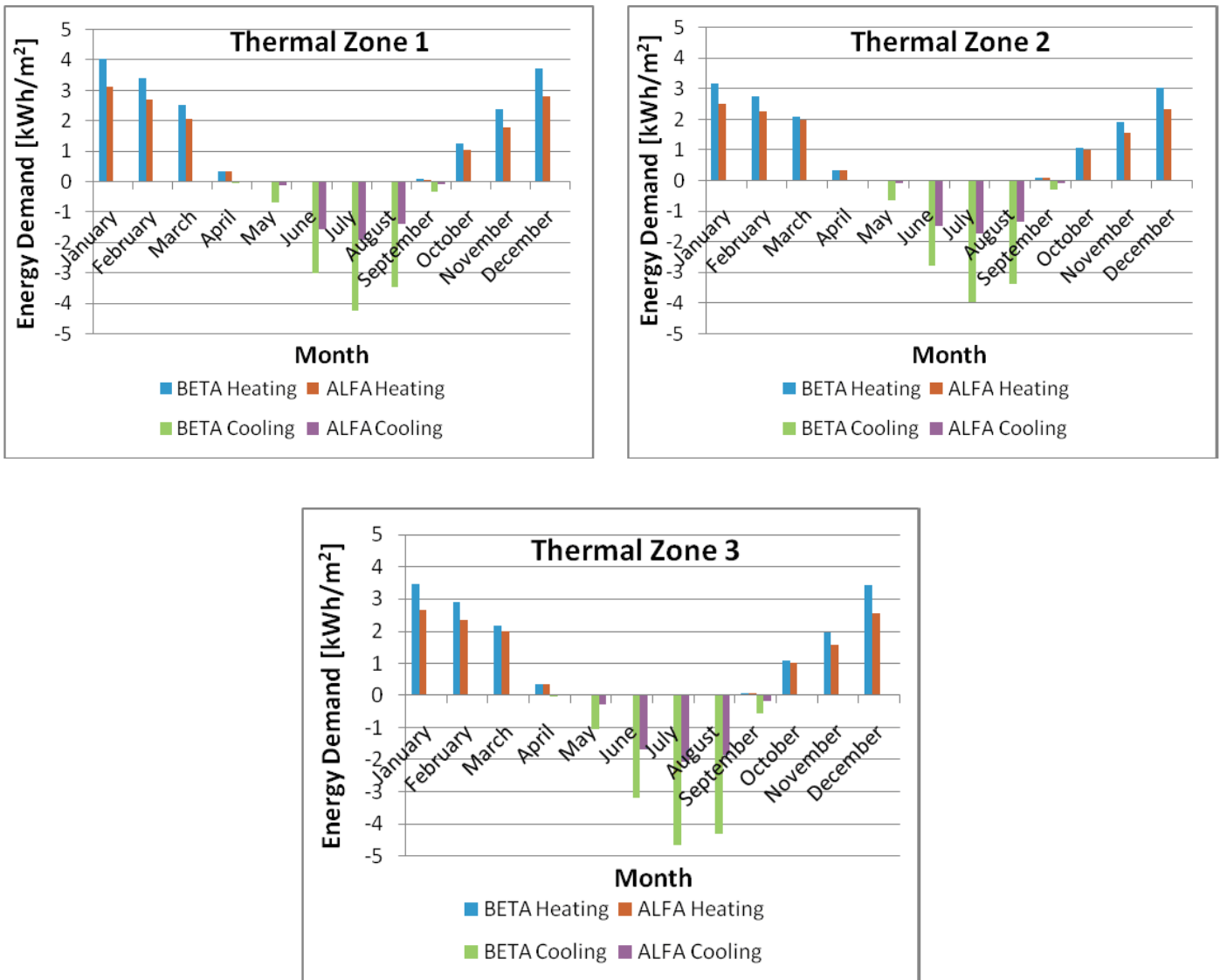


Figure 12: Energy demand for heating and cooling of the 1<sup>st</sup> floor

April and September can be considered as transitional periods when both heating and cooling systems are in operation. During these months there are also not very large differences in heating and cooling demands between ALFA and BETA cases compared with summer and winter periods. The highest heating demand in both ALFA and BETA cases is observed in January and February, i.e. the coldest winter months. The highest cooling demand for BETA case is in July and August. The cooling demand for ALFA case during the three summer months varies less and is significantly lower compared to BETA case.

The Figure 13 shows the percentage of time when the power of the heating and cooling systems is below certain limit. The diagrams correspond to the whole year 2008, when the heating and cooling systems are in operation.

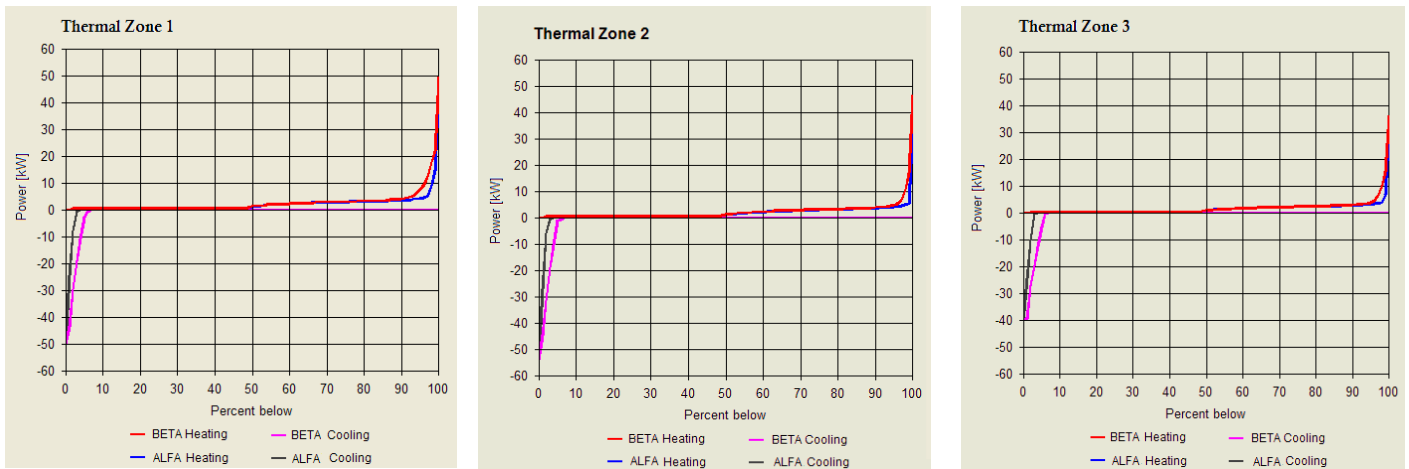


Figure 13: The power of the heating and cooling systems

From Figure 13 it can be seen that the needed heating power is lower in ALFA case, since the set point for heating system is 1°C lower than in the BETA case. The larger temperature control interval in ALFA case allows operating the cooling system almost 50% less of time compared to the BETA case. Moreover, it has also significantly lower power input. The cooling system peak load in both cases is the same and varies from 39.7-53.5 kW depending on the thermal zone. The peak load for the heating system varies from 35.8-49.2 kW for BETA and 31.5-46.1 kW for ALFA cases.

## Indoor Climate

The indoor climate in this paper is defined only by means of the operative temperature.

### Operative Temperatures

The Figure 14 shows the number of hours when the operative temperature is below certain limit. The graph corresponds to the summer period and standard occupied hours, i.e. from 8.00–17.00 during the weekdays.

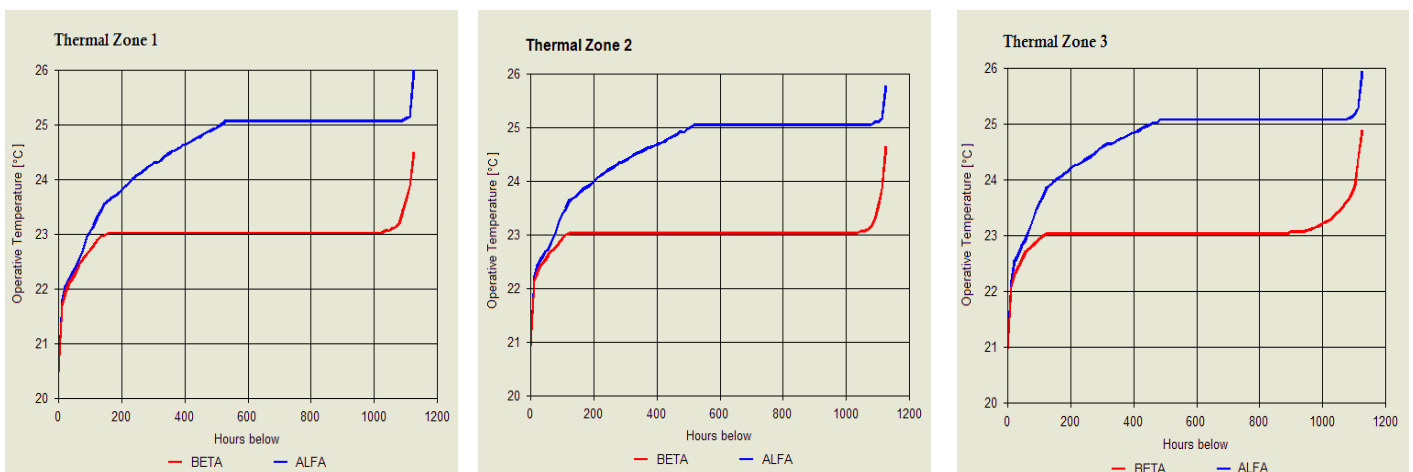


Figure 14: Operative temperatures of Thermal zones 1, 2 and 3 in summer period

The temperatures are in a range of 20.5-25.0°C for BETA case and 22.0-26.0°C for ALFA. The operative temperature for ALFA almost half of the occupied period is lower than 25°C. This is due to the fact, that the outdoor temperature is not very high compared to the cooling system set point. Thus the cooling is achieved via the ventilation air system. In both of the cases the temperature does not exceed the allowed value of 26°C specified in [1]. The higher temperatures than the set points were obtained because of the internal heat gains, e.g. from equipment, lighting and people. The major part of the occupied hours the temperature is maintained at the given set point and cooling system is capable to cover the heat load.

The operative temperatures for week 30 (21<sup>st</sup>-28<sup>th</sup> July) are given in Figure 15.

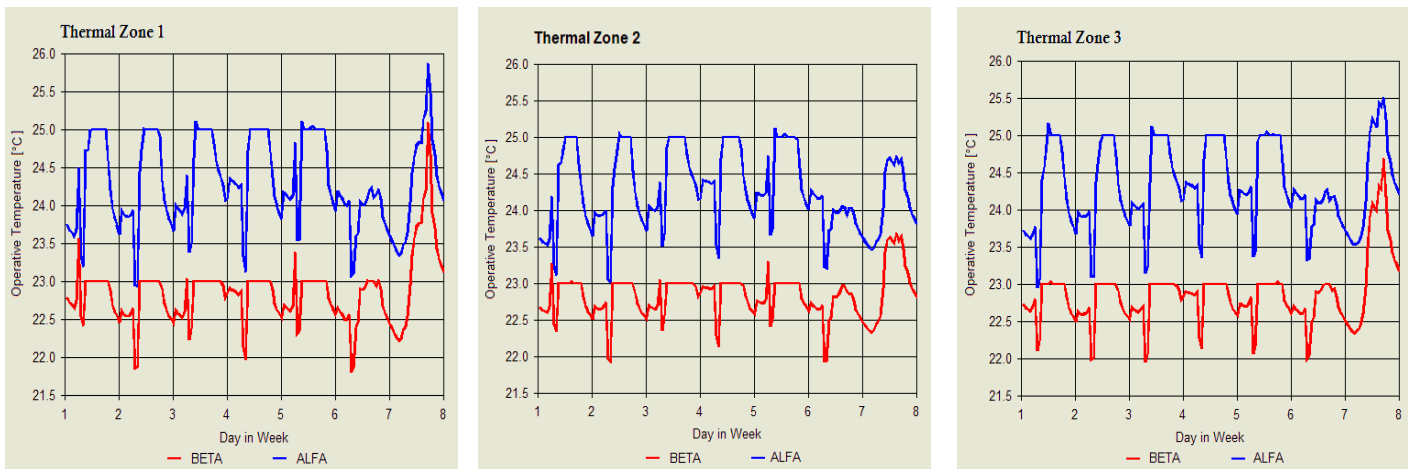


Figure 15: Operative temperatures in week 30 for the two control intervals in Thermal Zones 1, 2 and 3

The operative temperatures during the week do not normally exceed the given set points for cooling systems of 23°C and 25°C for BETA and ALFA cases respectively. During the working hours the higher indoor temperatures appear when there is high outdoor temperature and high internal and external heat loads, which the given cooling system cannot cover. Since cooling is in operation only when people are present, the highest temperatures occur during the weekend.

The Figure 16 shows the number of hours when the operative temperature is below certain limit. The graph corresponds to the winter period and standard occupied hours, i.e. from 8.00–17.00 during the weekdays.

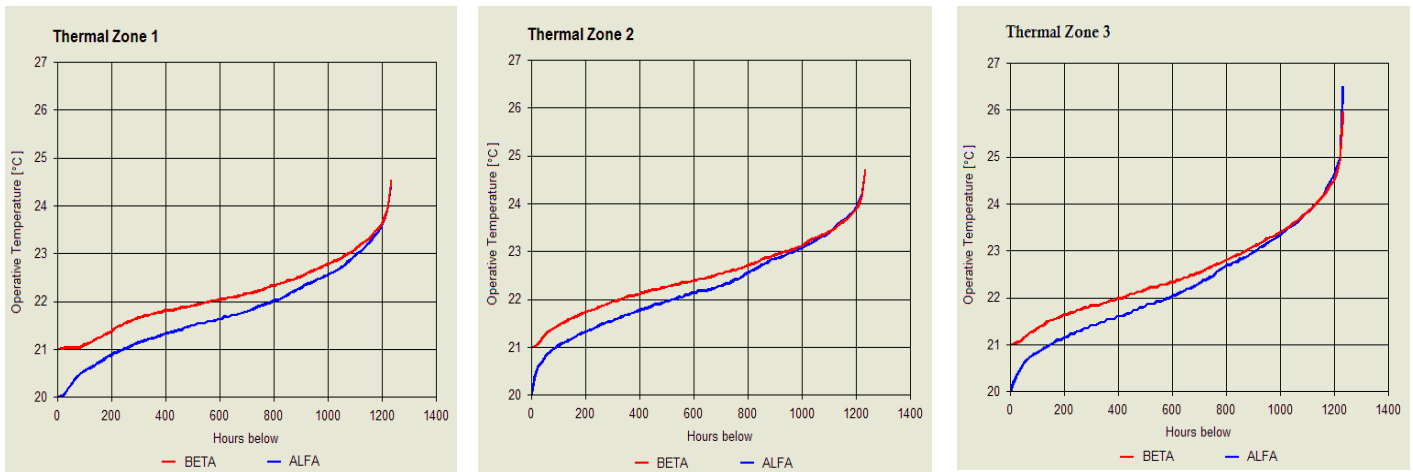


Figure 16: Operative temperatures of Thermal zones 1, 2 and 3 in winter period

The temperature for BETA case is in a range of 21.0-25.0°C and for ALFA 20.0-26.5°C. During the whole heating season the temperatures are much higher than the set points for both cases. This is due to the high internal heat gains from equipment, lighting and people. The temperature is kept constant according to the set points approximately 50 hours for BETA case. According to [1] the indoor temperatures during the winter should stay between 20.0 and 24.0°C. Thus none of the selected control ranges complies with this requirement.

The operative temperatures for week 7 (11<sup>th</sup>-18<sup>th</sup> February) are given in Figure 17.

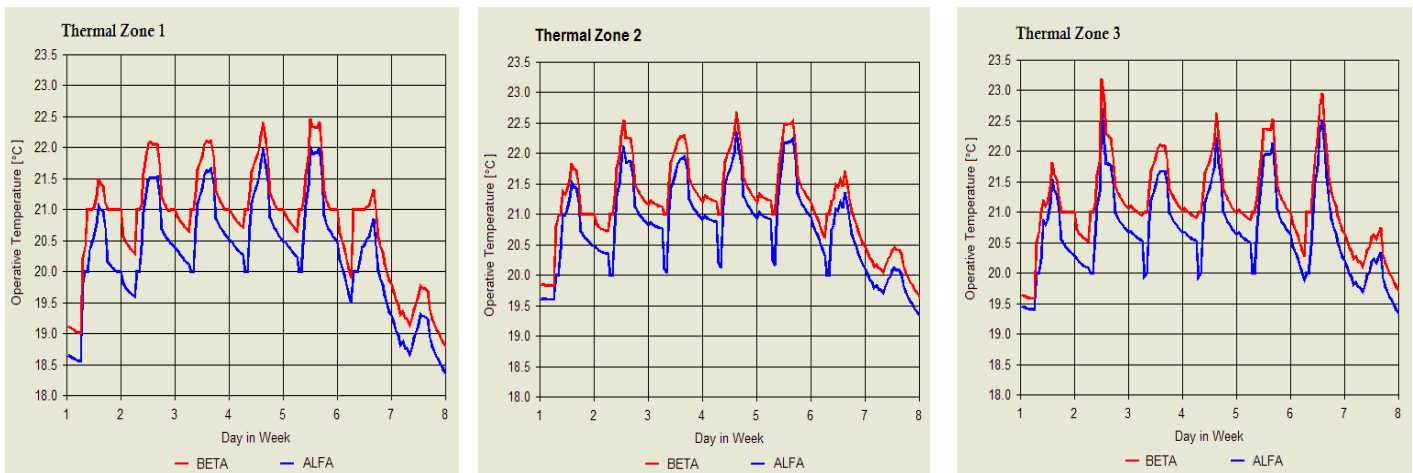


Figure 17: Operative temperatures in week 7 for the two control intervals in Thermal Zones 1, 2 and 3

The operative temperature is slightly lower in the ALFA case, since there is 1°C lower set point for the heating system than in the BETA case. The temperatures in both cases are lower in the nights and weekends due to the temperature setback of 3°C. The Thermal zone 3, facing south, has the highest temperatures because of the high internal heat gains from the solar radiation.

The histograms of the operative temperature during the summer and winter periods are given in Figure 18 and Figure 19.

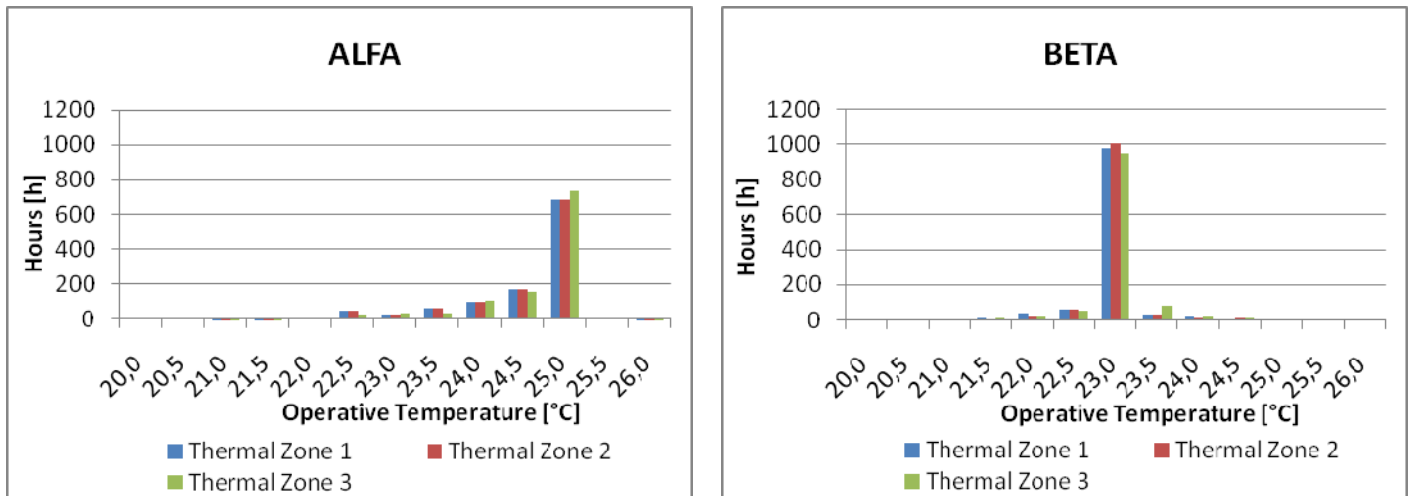


Figure 18: Histogram of the operative temperatures during the summer season from 8:00 to 17:00

The operative temperature for ALFA case approximately 80% of time is kept constant at the value of 23°C. The operative temperature for ALFA case is kept lower than 25°C almost half of the occupied period due to the not very high outdoor temperature.

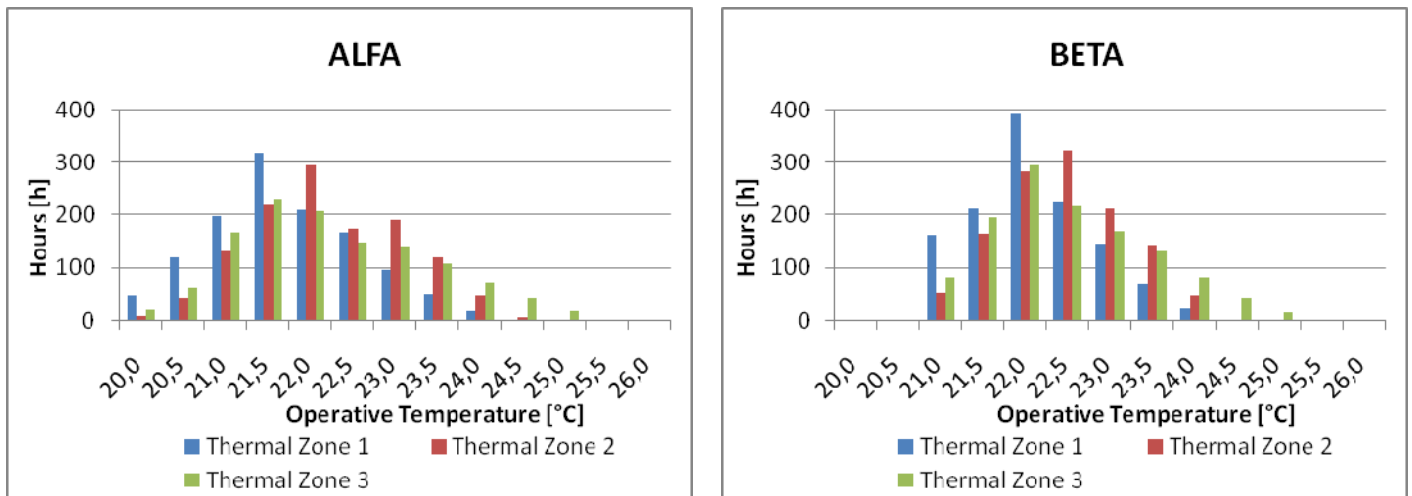


Figure 19: Histogram of the operative temperatures during the winter season from 8:00 to 17:00

The temperatures in both cases exceed the set point values of heating systems. Even though the ALFA case has 1°C lower set point for heating system, even higher temperatures appear in the zones compared with BETA case.

The operative temperature distribution in the different categories for the entire 1<sup>st</sup> floor for BETA and ALFA cases in accordance with the standard prEN15251 [7] is given in Table 4.

Table 4: Quality of thermal environment in % of time in four categories

Winter period

Thermal Environment	Percentage [-]			
	IV (Other)	III (19.0-25.0°C)	II (20.0-24.0°C)	I (21.0-23.0°C)
BETA	3.0	99.9	98.3	84.8
ALFA	0.2	99.8	98.0	78.5

Summer period

Thermal Environment	Percentage [-]			
	IV (Other)	III (22.0-27.0°C)	II (23.0-26.0°C)	I (23.5-25.5°C)
BETA	0.7	99.3	92.4	5.5
ALFA	0.6	99.4	94.6	91.3

Even though the operative temperature in a heating season for the BETA case is 3% of time slightly higher than 25°C it is still more often kept in the comfort range given for categories I and II compared to the ALFA case. During the summer period the ALFA case has a better performance in terms of thermal environment than BETA case, since the cooling system set point is 25.0°C and assuming 0.5 clo in summer the optimal operative temperature is 24.5 C. In the BETA building it would however have been possible to increase the set-point for summer and in this way obtain a higher % of time in category I.

## Conclusions

The larger temperature control range leads to the energy savings, e.g. the higher set point for cooling, i.e. 25°C instead of 23°C can decrease the energy use for cooling up to 50%. Moreover, the ALFA has a greater potential for using the night cooling, thus reducing the electricity consumption for operation of cooling coil by cutting the peak loads. Even though the set point for cooling system for ALFA case was 25°C, almost half of the period the temperature was below the given value due to the not very high outdoor temperature compared to the cooling system set point. The ALFA case has a better indoor temperature distribution profile in a summer period because of the cooling set point of 25°C. Moreover, it has also a smaller percentage of time when the operative temperature is outside the range given for category III both in winter and summer time. During the winter periods the temperatures were higher than the heating system set points because of the high internal heat loads, e.g. from equipment and lighting especially. The orientation of the building as well as the increased glazing area in the facades does affect the energy demand for heating and cooling. For example, Thermal zone 1, oriented north, has the highest heating demand and consequently lower cooling demand compared with the zone 3, facing south.

## References

1. Jensen, S.Ø., Nielsen, C., Høg, S., Lauersen, S., Madsen, H., Trombe, P.J., Toftum, J., Svendsen, P., Olsen L., Heerup, C. and Jacobsen, F. (2009) "Characterization and optimized control by means of multi parameter controllers", Project no. 339-032, Journal no. 464-06, Danish Technological Institute
2. Toftum, J. (2008) "Undersøgelse af indeklimaet i Tuborg Boulevard 12", International Centre for Indoor Environment and Energy, Denmark
3. Aggerholm, S. and Grau, K. (2007) "SBI-anvisning 213, Bygningers energibehov", Statens Byggeforskningsinstitut
4. prEN15251 (2005) "Criteria for the Indoor Environment including thermal, indoor air quality, light and noise"
5. Tøgersen, M., Brohus h. and Jensen R.L. (2008) "Analyse af forventet energiforbrug for Københavns Energi", PSO-projekt, Energirigtig bygningsautomation, Institut for Byggeri og Anlæg, Aalborg Universitet



6. Dansk Standard DS/CEN/TR 14788 (2006), "Ventilation i bygninger - Design og dimensionering af boligventilationssystemer"
7. prEN15251 (2006) "Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings- addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics"

## **Appendiks 4:**

### **BSim analyse af Københavns Energis kontorbygning - rapport**

# **Analyse af forventet energiforbrug og indeklima via et ALFA og BETA koncept**

## **- Københavns Energi som Case**

*PSO-projekt, Energirigtig bygningsautomation. Fase 1 - forundersøgelse*



Michael Tøgersen, Henrik Brohus & Rasmus Lund Jensen  
Institut for Byggeri og Anlæg, Aalborg Universitet  
*02-01-2009*

## Indholdsfortegnelse

1	Introduktion .....	4
2	Beskrivelse af Københavns Energis domicil .....	4
2.1	Styring af bygning .....	8
2.2	Konstruktionsopbygning .....	8
3	Definition af ALFA og BETA konceptet .....	9
4	Komfortgrænser til indeklimatekst .....	10
4.1	Termisk indeklimatekst .....	10
4.2	Atmosfærisk indeklimatekst .....	11
5	Beskrivelse af simuleringer .....	12
5.1	Bestemmelse af parametervariation .....	12
5.2	Oversigt over simuleringer .....	16
6	Opstilling af BSim model .....	18
7	Resultater .....	21
7.1	Energiforbrug .....	21
7.2	Termisk indeklimatekst .....	27
7.3	Atmosfærisk indeklimatekst .....	38
7.4	Energiforbrug vs. komfortniveau .....	46
8	Diskussion .....	48
8.1	Energiforbrug .....	48
8.2	Termisk indeklimatekst .....	50
8.3	Atmosfærisk indeklimatekst .....	52
8.4	Energiforbrug vs. komfortniveau .....	54
8.5	Energiforbrug vs. temperaturglid .....	55
8.6	Lokal følsomhedsanalyse .....	56
8.7	Styringsstrategier .....	59
8.8	Sammenligning af faktisk og simuleret energiforbrug .....	60

9	Konklusion .....	61
10	Litteraturliste .....	62
	Bilag A: Bygningstegninger	
	Bilag B: Simplificeret varmekapacitetsberegning	
	Bilag C: Beregning af det nødvendige luftskifte	
	Bilag D: Opsætning i BSim	
	Bilag E: Energiforbrug	
	Bilag F: Termisk indeklima	
	Bilag G: Atmosfærisk indeklima	
	Bilag H: Københavns Energi udgangspunkt	
	Bilag I: Termisk drivkraft beregning	
	Bilag J: Beregning af primært energiforbrug	

## 1 Introduktion

Projektets formål er at undersøge besparelspotentialet for energiforbruget med udgangspunkt i bygningen, hvor Københavns Energis domicil er lokaliseret. Til dette formål undersøges sammenhængen mellem fleksible indeklimakrav, reguleringsfilosofi, energiforbrug og omkostninger. Der tages derfor udgangspunkt i, hvordan bygningen styres i dag samt forventningsklassen<sup>1</sup>, hvor der udvælges et udsnit af bygningen, der giver et tilstrækkeligt detaljeret billede af bygningens virkemåde. Herefter defineres et såkaldt ALFA og BETA koncept, hvor ALFA-konceptet svarer til en bygning med naturlig ventilation, hvor der modsat anvendes mekanisk ventilation med køling for BETA-konceptet. Dette resulterer i forskellig ventilations- og styringsmæssig bestykning af bygningen.

Følgende spørgsmål søges belyst via en case:

- *Hvor stort et besparingspotentiale kan der forventes på energiforbruget?*
- *Forringes den termiske og atmosfæriske komfort afgørende ved skift fra en BETA-bygning til en ALFA-bygning?*
- *Kan bygningen overholde de vejledende krav til maksimal overskridelse af temperaturen jævnfør [DS 474, 1994] ved skift fra en BETA-bygning til en ALFA-bygning?*

Hypotesen er, at der ved fleksible indeklimakrav og betydelig regulering kan opnås et besparingspotentiale på omtrent 15 kWh/m<sup>2</sup> på energiforbruget<sup>2</sup>.

## 2 Beskrivelse af Københavns Energis domicil

I det følgende foretages en beskrivelse af bygningen, hvori Københavns Energi er lokaliseret. Københavns Energis domicil er lokaliseret i Ørestaden på Sjælland. Placeringen kan ses på Figur 2-1 markeret med den røde stift.

Bygningen blev færdiggjort januar 2005 og ejes af PFA Pension, som udlejer kontorarealerne til blandt andet Københavns Energi, Niras, Dong Energy m.fl. Den betragtede bygning kan ses på Figur 2-2. Her kan det ses, at bygningen er opført af tunge konstruktionsmaterialer. For at minimere varmetilskuddet fra solstråling er der opsat udvendig solafskærmning omkring vinduerne.

---

<sup>1</sup> Svarende til brugernes forventninger til indeklimaet jf. CR 1752

<sup>2</sup> Jævnfør PSO projektoplæg: Energirigtig bygningsautomation – Fase 1

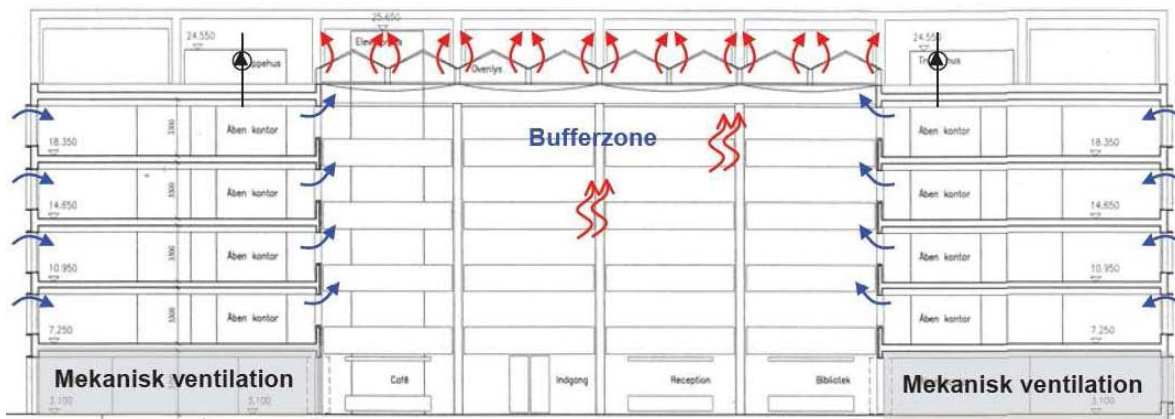


**Figur 2-1:** Lokalisering af Københavns Energis domicil i forhold til Danmark og Sjælland.



**Figur 2-2:** Bygningen set fra øst.

Bygningen er primært ventileret naturligt gennem automatisk styrede åbninger i facaden samt i toppen af atriet. Ventilationsprincippet for bygningen kan ses på Figur 2-3.



**Figur 2-3:** Ventilationsprincip for bygningen [WindowMaster, 2003].

Som det kan ses af Figur 2-3, er der kun mekanisk ventilation i stueetagen. På øverste etage er der endvidere monteret mekanisk udsugning for hermed at sikre tilstrækkeligt luftskifte på varme sommerdage med beskednen vind. Udsugningen er styret automatisk sammen med åbningerne i facader samt i atriets loft. [WindowMaster, 2003]

Som følge af at kontormiljøerne er åbne ud mod et atrium, opnås en bedre fordeling af dagslyset, som det kan ses på Figur 2-4. Der er opsat rækværk som sikkerhedsforanstaltning udført i glas med hvid overflade.





**Figur 2-4:** Åben forbindelse til atrium fra de åbne kontormiljøer.

I toppen af atriet er der etableret solafskærmning for at minimere varmetilskuddet samt for at reducere skæret fra solen. Solafskærmningen kan ses på Figur 2-4.

I kontorområderne er der i facaderne placeret højtsiddende automatisk styrede åbninger samt manuelt styrede åbninger, som det kan ses på Figur 2-5. Placeringen af den automatiserede åbning er valgt for at understøtte god indtrængning af luftstrålerne og dermed minimere trækgenerne for de ansatte. Den manuelle åbning forbedrer de ansattes mulighed for at påvirke egen komfort. Under vinduerne er der monteret radiatorer til at opretholde den termiske komfort.



**Figur 2-5:** Kontorområde fra Københavns Energis domicil.

På 1. – 4. sal er der placeret otte møde- og stillerum. Figur 2-6 viser et eksempel på et stillerum. Stille- og møderummene er opbygget af hvidpudsede betonelementer som kerne med en glasfacade på to af de fire sider. Alle møde- og stillerum er mekanisk ventilerede som følge af en relativ høj belastning og den manglende direkte kontakt til den øvrige bygning.



**Figur 2-6:** Stillerum fra Københavns Energis domicil.

## 2.1 Styring af bygning

Den termiske komfort opretholdes i bygningen af radiatorer monteret under vinduerne. Varmesystemet er zoneopdelt efter facadeorientering for at tage hensyn til forskelligt varmetilskud fra solindfald. Varmesystemet har tre blandesløjfer (en for den vestlige del af bygningen, en for syd samt en for nord/øst).

I bygningen er der installeret PIR følere til regulering af den almene belysning. De kan registrere bevægelse i en diameter på 5 - 6 m. Den almene belysning opretholdes af lysarmaturer monteret i loftet og er tændt på hverdage fra kl. 7-17 med 70 % styrke.

Stueetagen samt kælderen er mekanisk ventileret med køling som følge af en høj belastning. Ventilationsaggregaterne er placeret i kælderen. Resten af bygningen ventileres ved naturlig ventilation. Om vinteren køres med naturlig ventilation 2 minutter per time. Når forholdene tillader det, tvangsudluftes der kl. 5 og 6 om morgenen i 3 minutter per gang. Der anvendes en styring af åbningerne for den naturlige ventilation, som tager hensyn til vindretning.

Der er ingen fælles automatik for bygningens solafskærmning, hvor 85 % er persienner placeret indvendigt i vinduerne samt 15 % placeret udvendig for vestfacaden. De indvendige persienner er altid nede, men hældningen kan justeres manuelt.

## 2.2 Konstruktionsopbygning

I det følgende beskrives opbygningen af de enkelte konstruktioner ud fra de eksisterende tekniske tegninger. Materialernes varmeledningsevne og varmekapacitet er anslået ud fra de vejledende værdier i [DS 418, 2002]. For isoleringsmaterialet er der hentet oplysninger fra [Rockwool A/S, 2008].

Bygningens ydervægge er opbygget som sandwichelementer med egenskaber listet i Tabel 2-1.

Materiale	Tykkelse [m]	Varmeledningsevne [W/mK]	Varmekapacitet [J/kgK]
Beton	0,200	1,72	800
Isolering	0,175	0,037	800
Beton	0,070	0,5	800

**Tabel 2-1:** Opbygning af ydervæg.

Dette giver en samlet isolans,  $R$ , for ydervæggen på  $5,16 \text{ m}^2\text{K/W}$ , når der anvendes de ind- og udvendige overgangsisolanser på henholdsvis  $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$  og  $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$  jævnfør [DS 418, 2002]. Den samlede isolans svarer til en  $U$ -værdi på  $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Etageadskillelserne er opbygget af materialerne med egenskaberne listet i Tabel 2-2.

Materiale	Tykkelse [m]	Varmeledningsevne [W/mK]	Varmekapacitet [J/kgK]
Trægulv	0,014	0,17	1800
Afretning	0,076	0,25	1000
Betonelement	0,400	1,5	800
Luftlag	0,050	$0,16^3$	
Rockfon-plader	0,070	0,06	800

**Tabel 2-2:** Opbygning af etageadskillelse.

<sup>3</sup> Termisk modstand af luftlag i henhold til [DS 418, 2002] med enheden [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]

Bærende indvendige vægge er konstrueret af beton med en varmeledningsevne på 0,4 W/mK og en termisk kapacitet på 1000 J/kgK. Tykkelsen af de indvendige vægge er 0,2 m.

Glasset i vinduerne er af typen som Cool-lite SKN 172 fra producenten Scanglas A/S. Egenskaberne for glasset er listet i Tabel 2-3.

Egenskaber	SGG COOL-LITE® SKN 172 SGG PLANILUX®
Dagslys (EN410)	6-15-6
Udv. reflektans LR%	9
Indv. reflektans LR%	11
Transmittans LT%	66
Direkte Transmittans i %	36
Absorption (A1/A2) i %	37/3
g-værdi/Solfaktor	0,40
U-værdi i W/m <sup>2</sup>	1,2

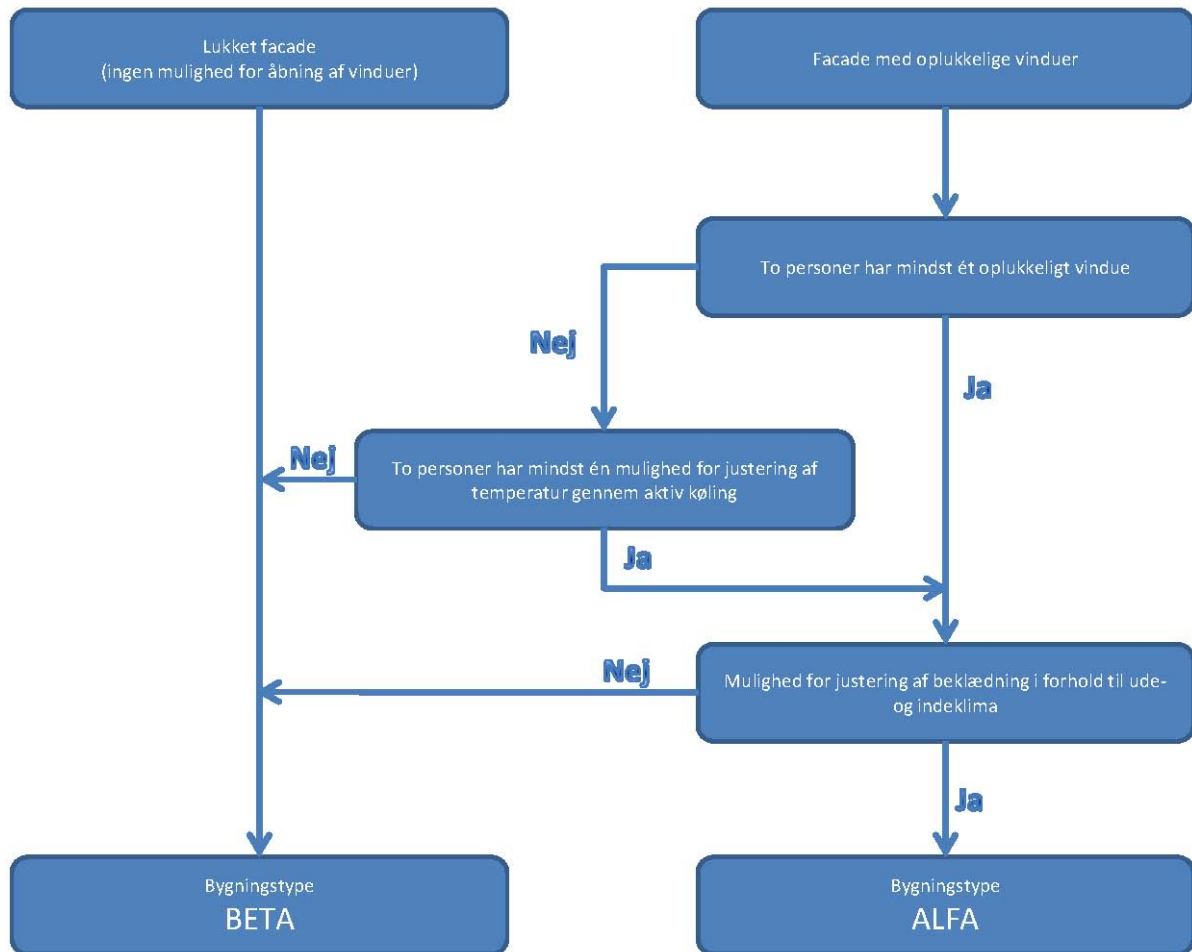
**Tabel 2-3:** Egenskaber for Cool-lite SKN 172 [Scanglas A/S, 2008]. Angivelsen EN410 indikerer, at glassets egenskaber fra producenten er bestemt i overensstemmelse med DS/EN 410. Forkortelserne LR og LT dækker henholdsvis over reflekteret lys og transmitteret synligt lys. For absorption svarer A1 og A2 henholdsvis til det yderste og inderste lag glas. Vinduets samlede U-værdi inkl. ramme anslås til 1,32 W/m<sup>2</sup>K.

For møderummene er glasvæggene af typen DEKO FG som er lydglas med en tykkelse på 12 mm.

### 3 Definition af ALFA og BETA konceptet

Til bestemmelse af bygningens energimæssige, termiske og atmosfæriske ydeevne opstilles der et såkaldt ALFA og BETA koncept. For at afgøre om bygningen kan kategoriseres som værende ALFA eller BETA er muligheden for adaptivitet (tilpasning) afgørende. På Figur 3-1 er der opstillet et diagram, hvor der skelnes mellem ALFA- og BETA-bygninger baseret på muligheden for adaptivitet, hvor personer i ALFA-bygninger har størst mulighed for at påvirke deres egen termiske situation.

Udvælgelsesproceduren illustreret i Figur 3-1 tager hensyn til henholdsvis adfærdsmæssig og psykologisk adaptivitet i form af muligheden for åbning af vinduer og justering af beklædningsisolansen. Endvidere er kravet til fri justering essentielt og ufravigeligt, såfremt bygningen skal kunne kategoriseres som værende ALFA, som det fremgår af Figur 3-1.



**Figur 3-1:** Kategorisering af bygninger som henholdsvis ALFA og BETA kategori [van der Linden et al., 2006], [Kurvers et al., 2006].

I projektet er definitionen af ALFA- og BETA-konceptet opstillet sådan, at hvis bygningen er fuldt ud mekanisk konditioneret med køling kategoriseres den som BETA-bygning. Hvis bygningen derimod alene er naturligt ventileret og med mulighed for vinduesåbning, kategoriseres den som en ALFA-bygning.

## 4 Komfortgrænser til indeklimateanalyse

I det følgende beskrives grænserne for det termiske og atmosfæriske indeklimate, som anvendes til analysen af bygningens ydeevne for de tre forventningsklasser A, B og C. Her svarer klasse A til en høj forventning til indeklimate, klasse B til middel forventning og klasse C til moderat forventning. [CR 1752, 1998]

### 4.1 Termisk indeklimate

Det termiske indeklimate omfatter blandt andet den operative temperatur og lokal lufthastighed, der har indflydelse på den enkelte persons komfort. I det efterfølgende fokuseres der dog udelukkende på den operative temperatur,  $t_{op}$ , da det ikke er muligt at forudsige de lokale lufthastigheder i det anvendte simuleringsprogram.

Aktivitetsniveauet er bestemmende for, hvor stor en varmeproduktion hver person har. Da der primært udføres kontorarbejde, svarer aktivitetsniveauet til 1,2 met. Året opdeles sæsonvist til bestemmelse af de termiske

designkriterier for henholdsvis sommer og vinter svarende til beklædningsisolanser på 0,5 clo og 1,0 clo, hvormed følgende kriterier for den operative temperatur kan opstilles i Tabel 4-1.

	Sommer	Vinter
Klasse A	24,5±1,0 °C	22,0±1,0 °C
Klasse B	24,5±1,5 °C	22,0±2,0 °C
Klasse C	24,5±2,5 °C	22,0±3,0 °C

**Tabel 4-1:** Tilladeligt interval for den operative temperatur for forventningsklasse A, B og C [CR 1752, 1998].

Klasserne svarer til de beskrevne i [CR 1752, 1998] i henhold til forventet antal utilfredse med det termiske indeklima. De termiske designkriterier anvendes som setpunkter for henholdsvis styring af den naturlige ventilation, mekanisk ventilation/køling samt opvarmning. For opvarmning anvendes den nedre værdi som setpunkt, hvor den øvre værdi anvendes som setpunkt for køling - eksempelvis henholdsvis 21,0 °C og 23,0 °C for klasse A om vinteren.

## 4.2 Atmosfærisk indeklima

Det atmosfæriske indeklima dækker her over den oplevede luftkvalitet bestemt indirekte via CO<sub>2</sub> koncentrationen i indeluften. Ud fra kravene i [CR 1752, 1998] er følgende designkriterier for det atmosfæriske indeklima opstillet i Tabel 4-2.

	CO <sub>2</sub> [ppm]
Klasse A	460
Klasse B	660
Klasse C	1190

**Tabel 4-2:** CO<sub>2</sub> koncentrationen i indeluften over udendørsniveau [CR 1752, 1998].

Værdierne for CO<sub>2</sub> koncentrationen i Tabel 4-2 er det tilladelige niveau over udendørsniveau. Det forudsættes, at luften indeholder 350 ppm CO<sub>2</sub> samt der ses bort fra arbejdstilsynets vejledning om ikke at overskride et CO<sub>2</sub> indhold i indeluften på 1000 ppm (aktuelt ved klasse C).

Ud fra beskrivelsen af kontorudsnittet er det muligt at bestemme det nødvendige luftskifte for hver af de tre forventningsklasser. Dette er gjort ud fra en stationær massebalance, hvormed det nødvendige luftskifte i Tabel 4-3 er bestemt.

	Krav til luftskifte baseret på CO <sub>2</sub> belastning			
	[h <sup>-1</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[l/s person]	[l/s m <sup>2</sup> ]
Klasse A	0,9	0,43	12	0,81
Klasse B	0,7	0,30	9	0,56
Klasse C	0,4	0,17	5	0,31

**Tabel 4-3:** Krævet luftskifte beregnet ud fra oplevet luftkvalitet og CO<sub>2</sub> iht. valgt indeklimaklasse.

Ved bestemmelsen af det nødvendige luftskifte er det forudsat, at ved et aktivitetsniveau på 1,2 met belaster en person indeluften med ca. 20 liter CO<sub>2</sub> per time [Steen-Thøde et al., 2001]. Det senere betragtede kontorudsnit, markeret på Figur 6-1, måler 495,3 m<sup>2</sup> eksklusiv de to møde- og stillerum (der udgør henholdsvis 34,2 m<sup>2</sup> og 21,6 m<sup>2</sup>), hvilket giver en gennemsnitlig personbelastning på 0,07 personer/m<sup>2</sup>.

## 5 Beskrivelse af simuleringer

Til at belyse bygningens forventede ydeevne er det valgt at undersøge følgende parametres indflydelse:

- Bygningsmasse
- Solafskærmning
- Intern belastning
- Lysregulering

### 5.1 Bestemmelse af parametervariation

Bygningsmassen har indflydelse på varme- og kølebehovet, da en tung bygning kan lagre mere energi i forhold til en let bygning. Varmebehovet må forventes at falde for den tunge bygning, da den oplagrede energi frigives, når varmetilskuddet er mindre end varmebehovet. Det modsatte må forventes for en let bygning. Da der kan oplagres mere energi for en tung bygning, må det forventes, at kølebehovet ligeledes minimeres og med en mere udjævnet temperaturprofil.

Effektiviteten af solafskærmning vil ligeledes have en effekt på varme- og kølebehovet, da varmetilskuddet må forventes at stige, når der ingen solafskærmning anvendes. Kølebehovet vil derimod falde, når der anvendes solafskærmning dog noget afhængigt af den elektriske belysning.

Den interne belastning vil have en direkte indflydelse på varme- og kølebehovet. En reduktion af det interne varmetilskud vil virke til gunst for kølebehovet såfremt det interne varmetilskud er større end varmebehovet. For varmebehovet vil den modsatte situation være gældende.

Elforbruget til belysning kan forventes reduceret ved at vælge en effektiv lysregulering i form af en styring efter dagslysniveauet. Endvidere vil en effektiv lysregulering minimere varmetilskuddet fra belysningen, hvormed det må forventes at varmebehovet stiger, såfremt det interne varmetilskud er mindre end varmebehovet.

#### 5.1.1 Termisk masse

En ændring af den termiske masse forudsætter henholdsvis, at det vil være muligt at frilægge en konstruktionsoverflade med tung masse eller indkapsle denne med et materiale med lavere varmekapacitet. Den termiske masse kunne f.eks. øges ved at fjerne det nedhængte loft, hvormed etagedækkets betonoverflade vil være frilagt. De eksponerede indvendige overflader i byggeriet har relativ høj termisk masse, da vægfladerne er malede betonflader og gulvet er af træ. For at minimere den termiske masse påsættes et isoleringslag på de indvendige vægflader dog ikke på ydervæggens inderside, da dette vil påvirke varmetabet og give et forkert billede af bygningens varmetransmission. Effektiviteten ved en forøgelse eller formindskelse af den termiske masse afhænger delvis af den eksponerede overflades tykkelse og overfladeareal i forhold til de andre eksponerede overflader samt varmekapaciteten. En vægtet værdi af den termiske masse antages at kunne bestemmes tilnærmet via:

$$\bar{c} = \frac{\sum A_i \cdot c_i}{\sum A_i}$$

hvor

$\bar{c}$  arealvægtet varmekapacitet for overfladematerialer [J/kgK]

$A_i$  areal af overflade i [m<sup>2</sup>]

$c_i$  varmekapacitet for overflade i [J/kgK]

Ved bestemmelse af den vægtede varmekapacitet benyttes overfladearealerne af de to trappevægge, de fire skillevægge mod naborum, væggen mod atriet og loftet. I Tabel 5-1 er arealer, varmekapacitet for de forskellige overflader listet samt ændringen af den termiske masse.

Konstruktion	Materiale	Areal [m <sup>2</sup> ]	Varmekapacitet [J/kgK]			
			Virkelighed	Udgangspunkt i BSim	Øget	Reduceret
Skillevæg (4 stk)	Gips	51	1000	1000	1650	350
Vægge mod trappekasse	Gips	49	1000	1000	1650	350
Atrievæg	Gips	50	1000	1000	1650	350
Inderside af ydervæg	Pudset beton	50	800	800	800	800
Vinduer(rude)	Glas		840	-	-	-
Vinduer(karm)	Træ		900	-	-	-
Loft	Beton	534	800	559	1105	12
Gulv	Træ	534	1800	1800	1800	1.800
Møblement	-	53	1200	-	-	-
Ændring					25 %	-25 %

**Tabel 5-1:** Anvendte varmekapaciteter for BSim simuleringerne listet i afhængighed af overflade og materialetype.

Som det kan ses i Tabel 5-1, er der ikke medtaget varmekapaciteten for vinduerne og møblelementet. Dette skyldes, at det ikke er muligt at tage direkte hensyn til dette under simuleringen i BSim. Derfor er vinduernes og møblelementets varmekapacitet tilskrevet loftet for alle simuleringerne. For en mere detaljeret forklaring henvises der til bilag B.

### 5.1.2 Solafskærmning

Graden af solafskærmning vil have indflydelse på varmekapaciteten samt mængden af kunstig belysning, hvorfor det er af interesse at undersøge solafskærmningens indflydelse på bygningens ydeevne. Der anvendes tre niveauer af solafskærmning for simuleringerne henholdsvis ingen, moderat og betydelig solafskærmning. Moderat solafskærmning knyttes til casene, hvor solafskærmningen ikke varieres. Heraf følger det, at solafskærmningen varieres mellem "ingen" solafskærmning og "betydelig" solafskærmning for ALFA- og BETA-bygningen for hver forventningsklasse, som det fremgår af Tabel 5-4.

Som moderat solafskærmning anvendes lyst tæt vævet gardin svarende til en afskærmningsfaktor på 0,75. Til betydelig solafskærmning er der valgt en afskærmningsfaktor på 0,15 svarende til udvendig persienne med en hældning på 60°. Værdierne svarer til de vejledende jævnfør [Andersen et al., 2002].

Typen af glas i vinduerne varieres ligeledes i sammenhæng med ændringen af solafskærmningen. Jo kraftigere solafskærmning jo lysere glas anvendes der for at kompensere for den reducerede dagslysmængde. Dette giver en højere værdi af lystransmittansen, LT, jo kraftigere solafskærmning, der anvendes. I afhængighed af solafskærmningen er den valgte glastype listet med egenskaber i Tabel 5-2.

Egenskaber	Betydelig solafsk. SGG PLANILUX® SGG PLTH® ULTRA N	Moderat solafsk. SGG COOL- LITE® SKN 172 SGG PLANILUX®	Ingen solafsk. SGG COOL-LITE® SKN 165B SGG PLANILUX®
Dagslys (EN410)	6-15-6	6-15-6	6-15-6
Udv. reflektans LR [%]	11	9	15
Indv. reflektans LR [%]	11	11	17
Transmittans LT [%]	78	66	59
Direkte Transmittans [%]	50	36	30
Absorption (A1/A2) [%]	18/12	37/3	37/2
g-værdi (Solfaktor)	0,61	0,40	0,33
U-værdi [W/m <sup>2</sup> ]	1,1	1,2	1,1

**Tabel 5-2:** Egenskaber for de tre anvendte glastyper [Scanglas A/S, 2008]. Angivelsen EN410 indikerer, at glassets egenskaber fra producenten er bestemt i overensstemmelse med DS/EN 410. Forkortelserne LR og LT dækker henholdsvis over reflekteret lys og transmitteret synligt lys. For absorption svarer A1 og A2 henholdsvis til det yderste og inderste lag glas.

Ud fra Tabel 5-2 kan det ses, at jo ringere solafskærmning, der anvendes, jo lavere g-værdi har glasset. Dette er valgt for at minimere varmetilskuddet med eventuel overophedning til følge. I forbindelse med simuleringerne multipliceres LT og g-værdien i Tabel 5-2 med 0,9 for at tage højde for, at vinduer kan være snavse-de.

### 5.1.3 Intern belastning

Den interne belastning er svær at definere præcist, da den afhænger af den fremtidige brug af bygningen samt om lejer/ejer ønsker at benytte energieffektivt udstyr. Derfor anvendes der ofte vejledende værdier. Da elektricitet vægtes med en faktor 2,5 i energiberegninger, kan det få store følger for den faktiske energiomkostning, hvorfor det er af interesse at belyse bygningens følsomhed over for en ændring af den interne belastning. Der fokuseres kun på en ændring af det elektriske udstyrs varmeafgivelse.

Som tidligere nævnt regnes der med 35 personer i kontorudsnittet. Det interne varmetilskud er listet i Tabel 5-3 ud fra vejledende værdier fra [Andersen et al., 2002]. Dette giver en samlet varmeafgivelse på 4360 (1985) W, hvor tal i parentes angiver effekten i standby tilstand.

Apparat	Antal [stk]	Varmebelastning [W/stk]	Samlet [W]
PC, standard	35	40 (25)	1400 (875)
PC-fladskærm 17"	14	40 (30)	560 (420)
PC-skærm 17"	21	100 (30)	2100 (630)
Printer	2	150 (30)	300 (60)

**Tabel 5-3:** Internt varmetilskud fra udstyr (tal i parentes angiver effekten i standby tilstand).

Dette svarer til en varmeafgivelse på cirka 8 W/m<sup>2</sup>, hvorimod den vejledende værdi for varmeafgivelsen fra elektrisk udstyr pr. opvarmet etageareal jævnfør [Aggerholm et al., 2007] kan sættes til 6 W/m<sup>2</sup> - altså en forskel på 25 %. Det vælges at benytte den vejledende værdi fra [Aggerholm et al., 2007] på 6 W/m<sup>2</sup> for de efterfølgende simuleringer, hvormed det samlede interne varmetilskud fra elektrisk udstyr bliver 3306 W.

### 5.1.4 Belysning

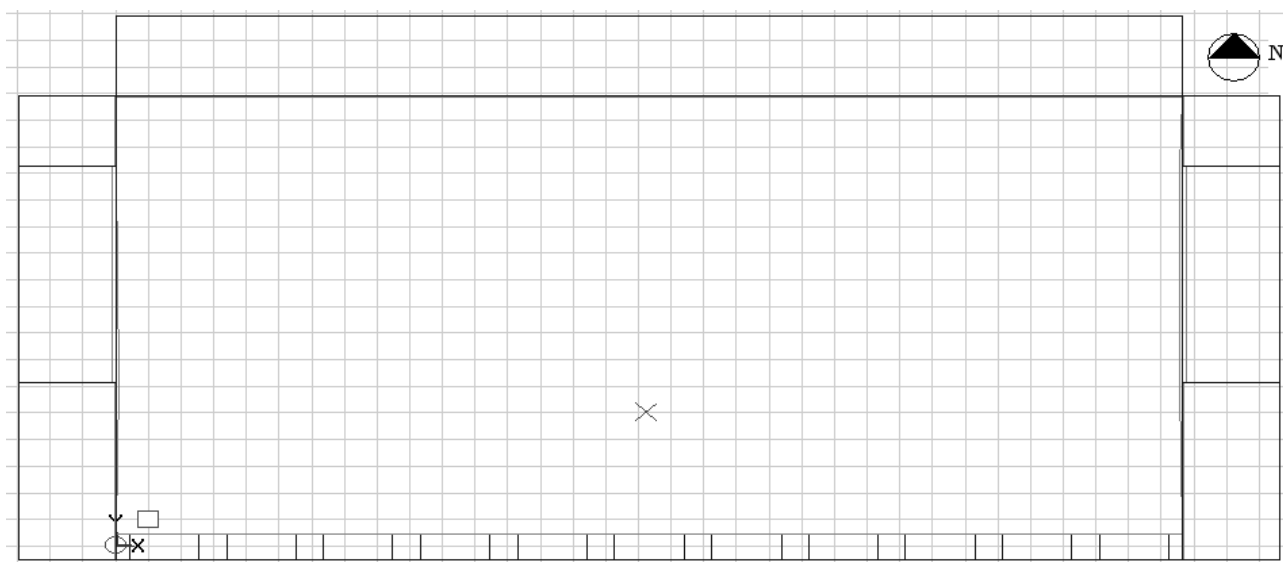
I forhold til energiforbruget til opvarmning, der vægtes med en faktor 1,0, vægtes elforbruget til elektricitet med en faktor 2,5 ved fastlæggelse af det primære energiforbrug, hvorfor dette er en central parameter for en bygnings energiforbrug. Det er derfor af vigtighed at undersøge om effektiv styring kan være med til at reducere elforbruget til belysning. Hertil anvendes der tre grader af lysstyring som er henholdsvis ingen, moderat



og betydelig lysstyring. Med parametervariationen er det muligt at undersøge, hvor stort et energiforbrug til belysning der kan spares i brugstiden, når der kommer tilstrækkeligt lys ind gennem vinduerne.

Ved en optimal lysstyring vil det kunstige lysniveau blive styret efter dagslysniveauet i rummet. Da dagslysniveauet i rummet ikke er konstant, men kraftigt faldende fra vinduerne og ind i rummet bør den kunstige belysning ligeledes kunne varieres, dog modsat så niveauet er højest længst væk fra vinduet. Derved vil dags- og kunstlys tilsammen give et nogenlunde jævnt niveau i hele rummet. I BSim er der ikke mulighed for at have forskellige niveauer af kunstlys i samme termiske zone til samme tid. Der er derfor skønnet en dagslysfaktor på 1,7, som forventes at resultere i det samme elforbrug til kunstig belysning som en regulering med varierende lysniveau på tværs af rummet.

For moderat og betydelig lysregulering anvendes henholdsvis en trinvis og en kontinuert styring efter dagslys, hvor der for begge reguleringstyper reguleres efter belysningsstyrken i et givet referencepunkt. Referencepunktet er lokaliseret i en højde på 0,8 m over gulvet, 5 m fra vinduerne samt 16,4 m målt fra trappevæggen i koordinatsystemets nulpunkt på Figur 5-1, hvor placeringen af referencepunktet er markeret med et kryds.



**Figur 5-1:** Placering af referencepunktet til beregning af dagslysfaktoren markeret med krydset.

Der anvendes en 2-trins lysregulering for den trinvis styring svarende til, at lyset henholdsvis er 0 %, 50 % og 100 % tændt afhængigt af luxniveauet. Modsat opnås det nødvendige luxniveau altid for kontinuert styring.

For alle tre grader af styring gælder det, at lyset er 100 % aktivt ved 90 – 100 % personbelastning, men reguleret i afhængighed af styringen. For overarbejds- og weekendtimerne anvendes ligeledes trinvis eller kontinuert styring efter dagslys, hvor antallet af personer er reduceret til 10 %. Endvidere er det forudsat, at særligt er altid tændt i brugstiden uafhængigt af lysstyringen.

For henholdsvis ingen, moderat og betydelig lysregulering anvendes der en varmeafgivelse på 15 W/m<sup>2</sup>, 10 W/m<sup>2</sup> og 7,5 W/m<sup>2</sup>. For at tage hensyn til eventuelt overarbejde samt anden aktivitet i kontorområdet, er belysning også aktiv for hverdage i tidsrummet 17:00 til 24:00 dog med en reducere i forhold til normal arbejdstid. Reduceringen foretages ved at varmeafgivelsen for belysningen sættes til 30 %, 20 % og 10 % for

henholdsvis ingen, moderat og kontinuert lysregulering i forhold til udgangspunktet,  $15 \text{ W/m}^2$ ,  $10 \text{ W/m}^2$  og  $7,5 \text{ W/m}^2$ , anvendt i normal arbejdstid. Ligeledes er belysning også aktiv lørdage med samme vægning, men dog for tidsrummet 8:00 til 17:00 for at tage hensyn til eventuel aktivitet i kontoret.

## 5.2 Oversigt over simuleringer

For at belyse bygningens energimæssige ydeevne er der opstillet en simuleringsmatrix med de tre forventningsklasser for en ALFA- og BETA-bygning. Til hver forventningsklasse opstilles otte simuleringer, hvor der foretages en variation af de fire ovenstående beskrevne parametre: termisk masse, solafskærmning, intern belastning og belysning samt en standardcase til sammenligning, som det kan ses i Tabel 5-4. Det giver i alt ni simuleringer for hver forventningsklasse. Hermed foretages en simpel sensitivitetsanalyse, som giver et indblik i bygningens energimæssige ydeevnes følsomhed overfor en ændring af de fire parametre.

Til belysning af bygningens energimæssige ydeevne er der valgt et udsnit af bygningen som vist på Figur 6-1, hvilken er vurderet at give et tilstrækkeligt detaljeret billede. I det valgte kontorudsnit arbejder der 35 personer.

Først beskrives faktorerne for casen UDGA, som er basismodellen af bygningen svarende til dens styring i dag med den aktuelle termiske og atmosfæriske belastning. Den er i dag kategoriseret som en ALFA-bygning, da den er naturligt ventileret og hvert individ har mulighed for at påvirke egen komfort ved manuelt at åbne et vindue og ændre beklædningsisolansen. Herefter beskrives ALFA- og BETA-bygningen for forventningsklasserne A, B og C for at belyse forskellen.

Når henholdsvis ALFA- og BETA- bygningerne for forventningsklasse A, B eller C simuleres, er det parametrene markeret med gråt i Tabel 5-4, der ændres. Ved at sammenligne Tabel 5-2 og Tabellerne 4-1 og 4-2 kan det ses, at den primære forskel mellem case UDGA og ALFA-/BETA-bygningerne er de termiske og atmosfæriske designkriterier givet i henholdsvis Tabel 4-1 og Tabel 4-2. BETA-bygningen er som sagt mekanisk ventileret med køling. Der er anvendt et ventilationsanlæg med varmegenindvinding, hvor virkningsgraden er på 70 % samt en samlet effektivitet af motor, ventilator etc. ligeledes på 70 %. Endvidere antages det, at der anvendes et anlæg med variabel luftydelse, hvormed det specifikke elforbrug til lufttransport ikke må overskride  $2500 \text{ J/m}^3$  jævnfør [Aggerholm et al., 2007]. For hver forventningsklasse foretages som tidligere nævnt en variation af parametrene, termisk masse, solafskærmning, intern belastning og belysning som beskrevet. Den interne belastning varieres i form af ”udstyr” dækkende over computere, PC-skærme, printere etc.

CASE	Koncept for styringsstrategi, ventilation og forventning til indeklima	Faktor	Variation
UDGA	KE udgangspunkt	Standard	Standard
AA01	ALFA Klasse A	Standard	Standard
AA02		Bygningsmasse	+ 25 % - 25 %
AA03			
AA04		Solafskærmning	Ingen Betydelig
AA05			
AA06		Intern belastning	+ 25 % - 25 %
AA07			
AA08		Lysregulering	Ingen Betydelig
AA09			
AB01	ALFA Klasse B	Standard	Standard
AB02		Bygningsmasse	+ 25 % - 25 %
AB03			
AB04		Solafskærmning	Ingen Betydelig
AB05			
AB06		Intern belastning	+ 25 % - 25 %
AB07			
AB08		Lysregulering	Ingen Betydelig
AB09			
AC01	ALFA Klasse C	Standard	Standard
AC02		Bygningsmasse	+ 25 % - 25 %
AC03			
AC04		Solafskærmning	Ingen Betydelig
AC05			
AC06		Intern belastning	+ 25 % - 25 %
AC07			
AC08		Lysregulering	Ingen Betydelig
AC09			
BA01	BETA Klasse A	Standard	Standard
BA02		Bygningsmasse	+ 25 % - 25 %
BA03			
BA04		Solafskærmning	Ingen Betydelig
BA05			
BA06		Intern belastning	+ 25 % - 25 %
BA07			
BA08		Lysregulering	Ingen Betydelig
BA09			
BB01	BETA Klasse B	Standard	Standard
BB02		Bygningsmasse	+ 25 % - 25 %
BB03			
BB04		Solafskærmning	Ingen Betydelig
BB05			
BB06		Intern belastning	+ 25 % - 25 %
BB07			
BB08		Lysregulering	Ingen Betydelig
BB09			
BC01	BETA Klasse C	Standard	Standard
BC02		Bygningsmasse	+ 25 % - 25 %
BC03			
BC04		Solafskærmning	Ingen Betydelig
BC05			
BC06		Intern belastning	+ 25 % - 25 %
BC07			
BC08		Lysregulering	Ingen Betydelig
BC09			

**Tabel 5-4:** Oversigt over BSim simuleringer på Københavns Energi.

Den termiske og atmosfæriske belastning på kontorudsnittet i form af personerne og belysningen er opsummeret i Tabel 5-5, hvor setpunktet for opvarmning og køling også fremgår.

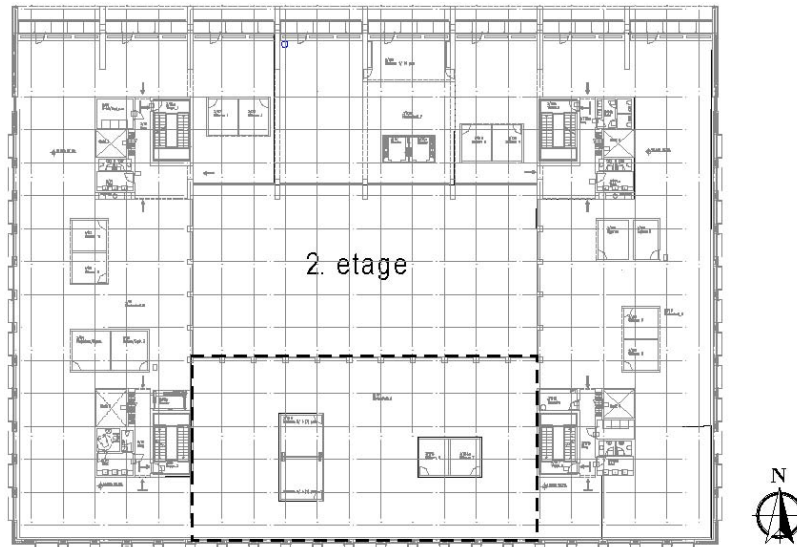
System	Beskrivelse	Tidsplaner	
		Regulering	Tidsangivelse
Personlast 35 personer	35 personer med et aktivitetsniveau svarende til 1,2 met 10 % til stede 90 % til stede 100 % til stede		Hverdage kl. 17-24, lørdag kl. 8-17 Hverdage kl. 8-9 og 16-17 Hverdage kl. 9-16
Udstyr	6,0 W/m <sup>2</sup> 10 % tændt 75 % tændt 100 % tændt		Hverdage kl. 17-24, lørdag kl. 8-17 Hverdage kl. 8-9 og 16-17 Hverdage kl. 9-16
Infiltration	Grundluftskifte 0,13 l/s m <sup>2</sup> i brugstiden og 0,09 l/s m <sup>2</sup> udenfor brugstiden.		Altid kl. 0-8 og 17-24 Altid kl. 8-17
Belysning	Særlys 1,0 W/m <sup>2</sup> Almen belysning 10 W/m <sup>2</sup> , 300 lux Type: Lysstofrør (Fluorescent)	Trinvis efter dagslys	Hverdage kl. 17-24, lørdag kl. 8-17 Hverdage kl. 7-17
Opvarmning	Ydelsen for varmeanlægget fastsættes, så setpunktet for opvarmning opnås.	Setpunkt 20,0 °C	Aktiv alle timer i varmesæson. Uge 1-19 og 38-53
Naturlig ventilation	Basisluftskifte 0,65 h <sup>-1</sup>  Til opstilling af modellen er der taget hensyn til modellering af de termiske kræfter	Setpunkt 23 °C	Natkøling uge 20-37, kl. 0-6
		Setpunkt 24 °C	Varmesæson, Uge 1-20 og 38-53 Hverdage kl. 7-17 og 17-24 Lørdage kl. 8-17
		Setpunkt 26 °C	Sommer uge 21-37, Hverdage kl. 7-17 og 17-24 Lørdage kl. 8-17
		Setpunkt CO <sub>2</sub> 0 ppm	Natkøling uge 21-37, kl. 0-6
		Setpunkt CO <sub>2</sub> 1010 ppm	Hverdage kl. 7-24 Lørdage kl. 8-17

**Tabel 5-5:**Systemer og deres regulering for case UDGA. Parametrene markeret med gråt ændres i afhængighed af forventningsklasse A, B og C (se Tabel 4.1 og 4.2).

## 6 Opstilling af BSim model

Til simulering af bygningens forventede energimæssige ydeevne er der anvendt det hygrotermiske bygnings-simuleringsprogram BSim [Wittchen et al., 2008]. I det følgende beskrives BSim modellen for kontorudsnittet, som kan ses på Figur 6-1.

For simulering af bygningens ydeevne, herunder det termiske og atmosfæriske indeklima, er der foretaget en afgrænsning således, at der kun opstilles en BSim model for et udvalgt område af bygningen. I dette tilfælde er et østvendt kontorområde på 2. sal valgt som værende repræsentativt for bygningens ydeevne. Dog med den ændring at bygningen roteres, så kontorudsnittet er orienteret mod syd som en "worst case". Kontorudsnittet måler 33 x 16,7 m og er afgrænset med en stiplede linie på Figur 6-1, hvor bygningen er roteret, så kontorudsnittet er orienteret mod syd.



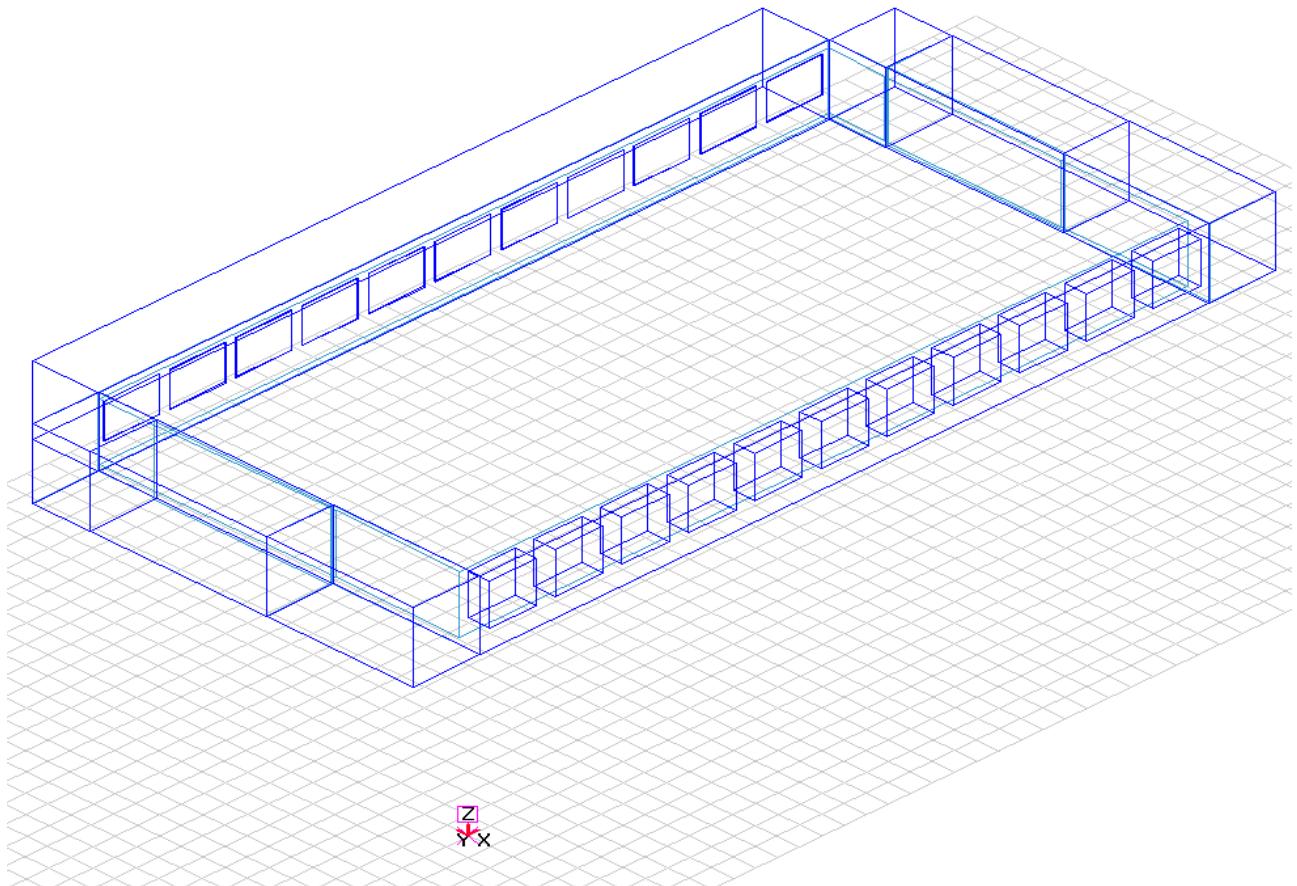
**Figur 6-1:** Plantegning af 2. sal hvor kontorudsnittet er orienteret mod syd i simuleringerne (i virkeligheden vender den mod øst). Det betragtede område er afgrænset med en stiplede linie.

Ved den på Figur 6-1 viste afgrænsning vil den åbne forbindelse til de øst- og vestvendte kontorer ikke blive modelleret. Afgrænsningen forudsætter således, at der udelukkende forekommer luftstrømninger gennem vinduerne i den sydvendte facade samt det centrale atrium foruden in-/eksfiltration.

Bygningen er naturlig ventileret for de fire øverste etager drevet af en kombination af vindtryk og termisk opdrift i bygningen via de oplukkelige vinduer i bygningens facade samt ovenlyset i atriet. Vinduerne i facaden anvendes til luftindtag, mens vinduerne i atriets top benyttes som luftafkast. Atriet benyttes som bufferzone for varme- og forureningsbelastningerne fra de tilstødende kontorer som følge af den åbne forbindelse mellem kontormiljøerne og atriet.

For simuleringerne er der anvendt et kalenderår, hvor d. 1. januar er en mandag. For simuleringerne er det nødvendigt at benytte henholdsvis sommer- og vintersetpunkter f.eks. setpunktet for køling. Vintermånederne er inddelt til at gå fra uge 1 - 19 (1. januar – 13. maj) og uge 38 - 53 (17. september – 31. december), hvor sommermånederne er fra uge 20 - 37 (14. maj – 16. september).

Arbejdstiden er for hverdage sat fra kl. 8 - 17 samt overarbejde fra kl. 17 - 24. Endvidere er det antaget, at der er personer på overarbejde på lørdage fra kl. 8 - 17.

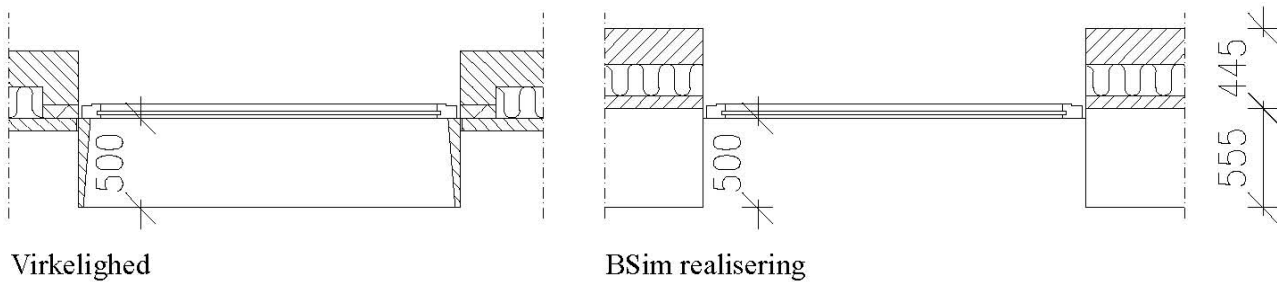


**Figur 6-2:** BSim model af kontorudsnit.

Modellen simplificeres ved at udelade de to møde- og stillerum fra kontorudsnittet. Dog medtages belastningen fra lys derfra i simuleringerne. For modellen er den samme bygningsmasse opnået ved at modellere de åbne forbindelser til de øst- og vestvendte kontorområder med gipsvægge, hvor væggen ud mod atriet ligeledes modelleres som en gipsvæg.

I BSim er det ikke muligt direkte at tage hensyn til forøgelsen af varmetabet på grund af linjetab mellem konstruktionssamlingerne. Det antages i den forbindelse, at der er tilstrækkelig kuldebrosafbrydelse mellem etage og ydervægssamlingen, hvormed der kan ses bort fra dette linjetab. Derimod medtages linjetabet omkring samlingen mellem vinduerne og ydervæggen. Dette gøres indirekte ved at udregne linjetabet omkring vinduerne og reducere ydervæggens samlede isoleringsevne. Det antages, at kuldebrosafbrydelsen er 10 mm, og da både for- og bagmur er af beton, bliver linjetabet  $0,05 \text{ W/mK}$  jævnfør DS 418. Den samlede længde af kuldebroen omkring vinduessamlingerne udgør 96 m, hvormed det samlede linjetab bliver  $4,8 \text{ W/K}$ . Ved division af ydervæggens overfladeareal på  $52 \text{ m}^2$  ekskl. vinduerne findes det, at ydervæggens  $U$ -værdi skal øges med  $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ , hvormed den nye transmissionskoefficient for ydervæggen bliver  $0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ . For at opnå dette i BSim ændres varmeledningsevnen for isoleringsmaterialet fra  $0,035 \text{ W/mK}$  til  $0,057 \text{ W/mK}$ .

Det er heller ikke muligt direkte at simulere virkningen af den eksisterende solafskærmning i form af udhænget omkring vinduerne samt indbygningen af vinduet. Dette skyldes dels begrænsninger i programmet samt at BSim indsætter vinduer midt i en konstruktion. Ved at kende murhullets dybde til glassets ydre overflade samt udhængets længde øges murens tykkelse med et fiktiv lagt uden termiske egenskaber. Udhænget har en længde på 430 mm og murhullet en dybde af 70 mm, som det kan ses på Figur 6-3.



**Figur 6-3:** Faktiske solafskærmning (venstre) og modelleret solafskærmning i BSim (højre). Alle mål i mm.

Da ydervæggen har en faktisk tykkelse på 445 mm, skal der tillægges et ekstra fiktiv lag på 555 mm uden termiske egenskaber. Hermed bliver ydervæggens samlede tykkelse på 1000 mm. Da BSim placerer vinduer midt i konstruktionen, opnås hermed effekten af solafskærmningen og varmetabet ændres ikke for bygningen i forhold til det faktiske.

## 7 Resultater

Ud fra beskrivelsen af bygningen samt BSim modellen er der opstillet i alt 55 BSim modeller, hvor resultaterne herfra belyses i det følgende. Kontorudsnittets totale energiforbrug per m<sup>2</sup> samt termisk og atmosfærisk indeklima anvendes til at karakterisere bygningens ydeevne.

### 7.1 Energiforbrug

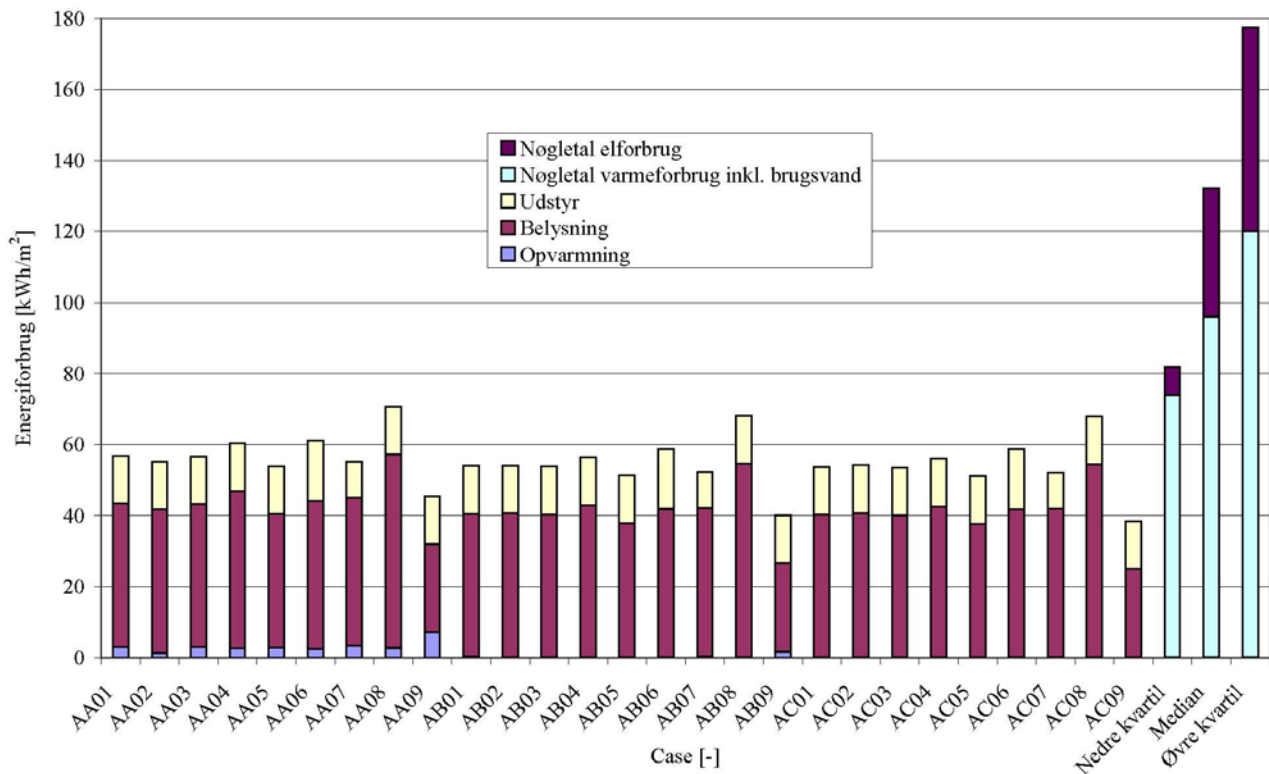
Det årlige forventede energiforbrug simuleret i BSim opdeles i udstyr, belysning og opvarmning for ALFA-bygningen<sup>4</sup>, hvor det for BETA-bygningen opdeles i ventilationsanlæggets ventilator, køling, udstyr, belysning og opvarmning. Udstyr dækker over energiforbruget til computere, PC-skærme, printere etc.

Til sammenligning af det forventede energiforbrug i afhængighed af forventningsklasse er der i [Olsen et al., 2002] fundet nøgletal for kontorbyggerier i Danmark. Nøgletallene er baseret på indrapporteringer i perioden januar 1997 til maj 2002. Det er valgt at benytte nøgletal for bygninger, hvor der anvendes fjernvarme til opvarmning inkl. varmtvandsforbrug. Da varmtvandsforbrug ikke indgår i det forventede energiforbrug fra BSim simuleringerne, skal sammenligningen mellem varmeforbruget tages med et vist forbehold. Ud over varmeforbruget er der i [Olsen et al., 2002] ligeledes fundet nøgletal for elforbruget. Elforbruget dækker over det totale forbrug til belysning, udstyr etc. Til sammenligningen med det forventede energiforbrug fra simuleringerne er der anvendt henholdsvis 25 % fraktil, median og 75 % fraktil.

#### 7.1.1 ALFA-bygning

Det totale forventede energiforbrug for ALFA-bygningen i afhængighed af forventningsklassen er opsummeret på Figur 7-1. Her ses det, at det samlede energiforbrug falder svagt i takt med lavere forventningsklasse samt at varmeforbruget er lavere for forventningsklasse B end A og ikke-eksisterende for forventningsklasse C. For alle de forventede energiforbrug kan det dominerende energiforbrug tilskrives belysningen.

<sup>4</sup> Køling i ALFA bygningen foregår alene ved frikøling (med koldere udeluft) og natkøling (køling af konstruktioner med kold udeluft om natten, så konstruktionerne kan absorbere overskudsvarme i dagtimerne).



**Figur 7-1:** Forventet energiforbrug i afhængighed af forventningsklasse for ALFA-bygningen simuleret i BSim (det tilsvarende primære energiforbrug kan findes i bilag J).

På Figur 7-2 kan den relative ændring af energiforbruget til belysning ses i afhængighed af forventningsklasse for ALFA-bygningen i forhold til ændringen af solafskærmningsgraden og lysstyringen.

Når der i det efterfølgende snakkes om relativ ændring, er det den ændring af energiforbruget en given case medfører i forhold til casen med indeksnummer 01 i afhængighed af forventningsklasse. Et eksempel på den relative ændring af energiforbruget til belysning, som ingen solafskærkning medfører bestemmes af:

$$\frac{AA04 - AA01}{AA01}$$

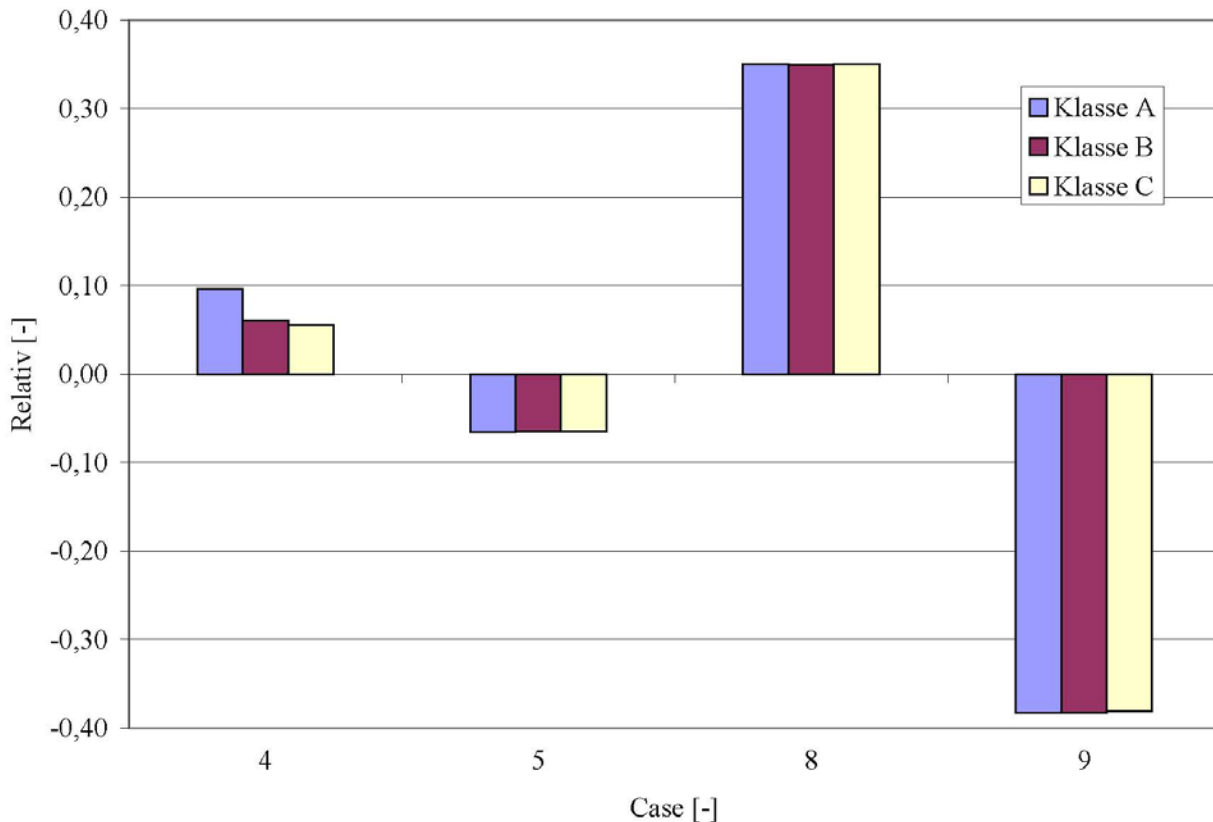
hvor

AA01 er casen med moderat solafskærkning forventningsklasse A, ALFA - bygningen

AA04 er casen med ingen solafskærkning forventningsklasse A, ALFA - bygningen

På tilsvarende måde er de andre relative ændringer af energiforbrugets parametervariationen i afhængighed af forventningsklasse for ALFA- og BETA-bygningen bestemt.



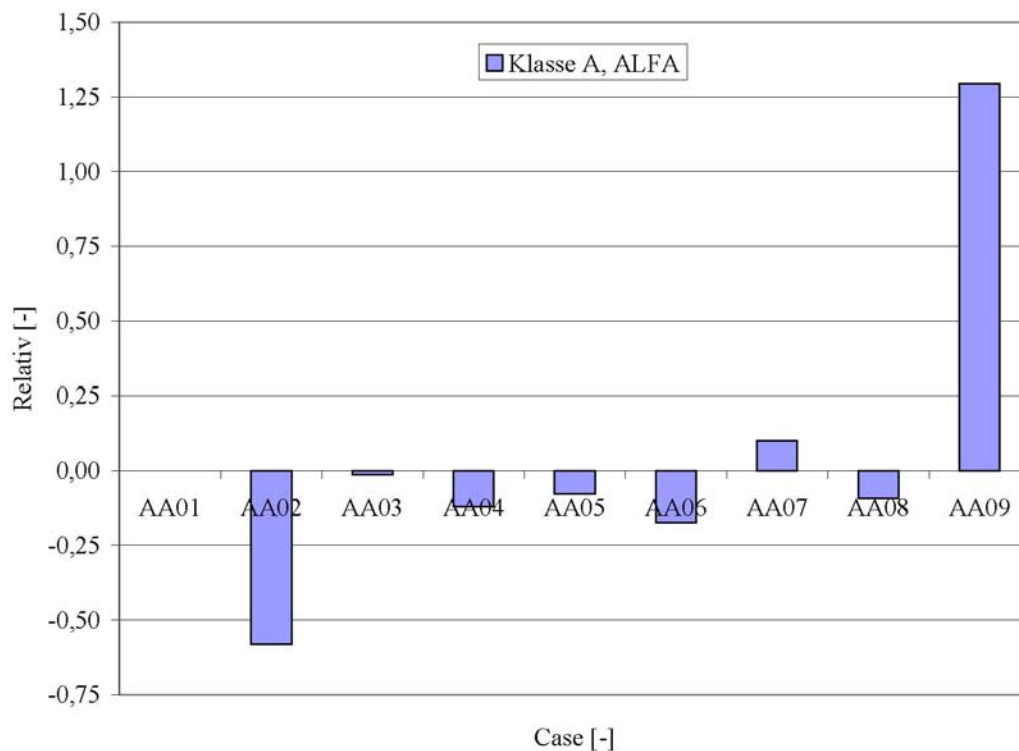


**Figur 7-2:** Relativ ændring af energiforbrug til belysning i forhold til parametervariation for ALFA-bygningen case 4, 5, 8 og 9 klasse A, B og C i forhold til case 1 (se oversigt over simuleringer i Tabel 5-1).

Det er forventeligt med et større energiforbrug til belysning uden lysstyring i forhold til kontinuert, som det kan ses på Figur 7-2. Grunden til, at energiforbruget stiger, når der ikke anvendes solafskærmning og falder, når der benyttes betydelig solafskærmning, er valget af glassets egenskaber for BSim modellen jævnfør Tabel 5-2. Her fremgår det, at for ingen solafskærmning anvendes der glas med en lystransmittans på 0,78, hvor der for betydelig solafskærmning anvendes glas med en lystransmittans på 0,59.

Ændringen af den termiske masse og det interne varmetilskud har ingen indflydelse på energiforbruget til belysningen, hvorfor dette ikke er medtaget i resultatbehandlingen på Figur 7-2. Betydningen af solafskærmningsgraden og lysstyringen på energiforbruget til belysningen er identisk for BETA-bygningen, hvorfor dette ikke præsenteres senere under resultatbehandlingen for BETA-bygningen. Resultatet kan dog findes i bilag E.

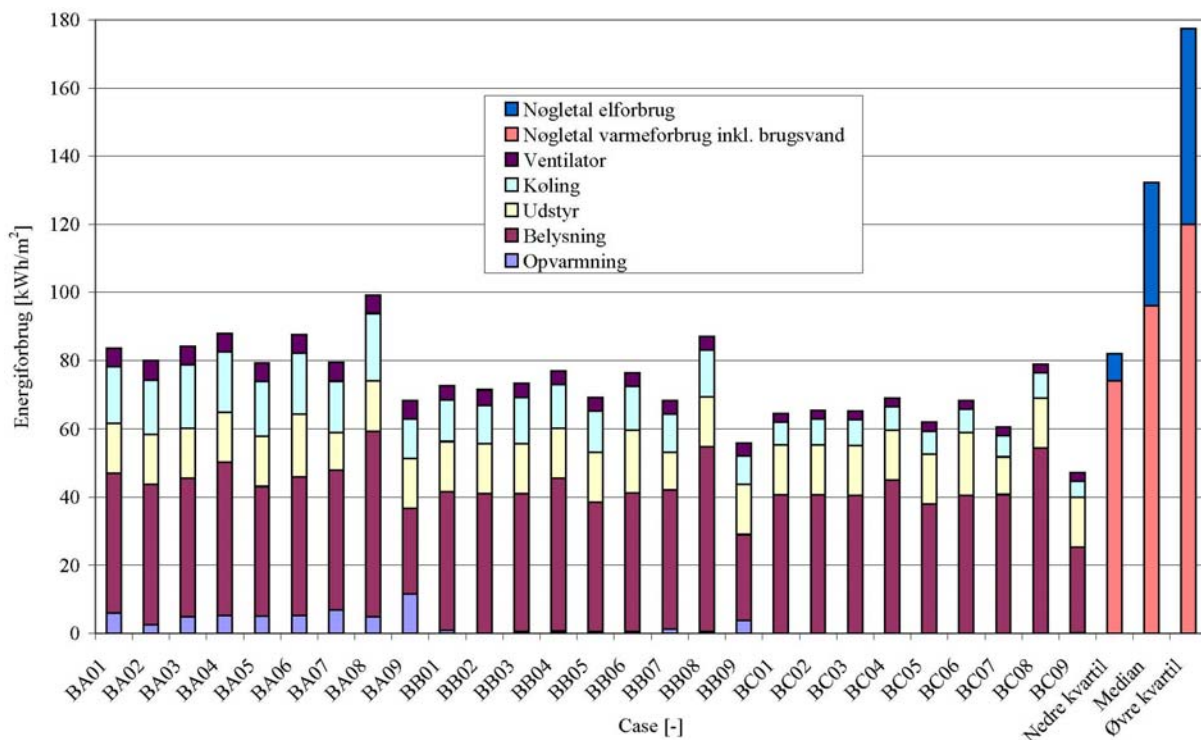
Ændringen af energiforbruget til opvarmning i forhold til parametervariationen for ALFA-bygningen, klasse A, er opsummeret på Figur 7-3. For klasse B ses et næsten identisk resultat, dog får parametrene større betydning for varmebehovet, da setpunktet for opvarmning er lavere, hvilket kan ses i bilag E. For klasse C har parametervariationen kun betydning for varmekonsumet for case AC07 og AC09, hvilket henholdsvis er -25 % intern belastning og kontinuert lysstyring. For de andre cases er varmetilskuddet fra belysningen og den interne belastning fra udstyr og personer tilstrækkelig til at opretholde den ønskede operative temperatur. I bilag E er energiforbruget til opvarmning i kWh for klasse C opsummeret.



**Figur 7-3:** Relativ ændring af energiforbrug til opvarmning i forhold til case 1 bestemt via parametervariation for ALFA-bygningen ved forventningsklasse A.

### 7.1.2 BETA-bygning

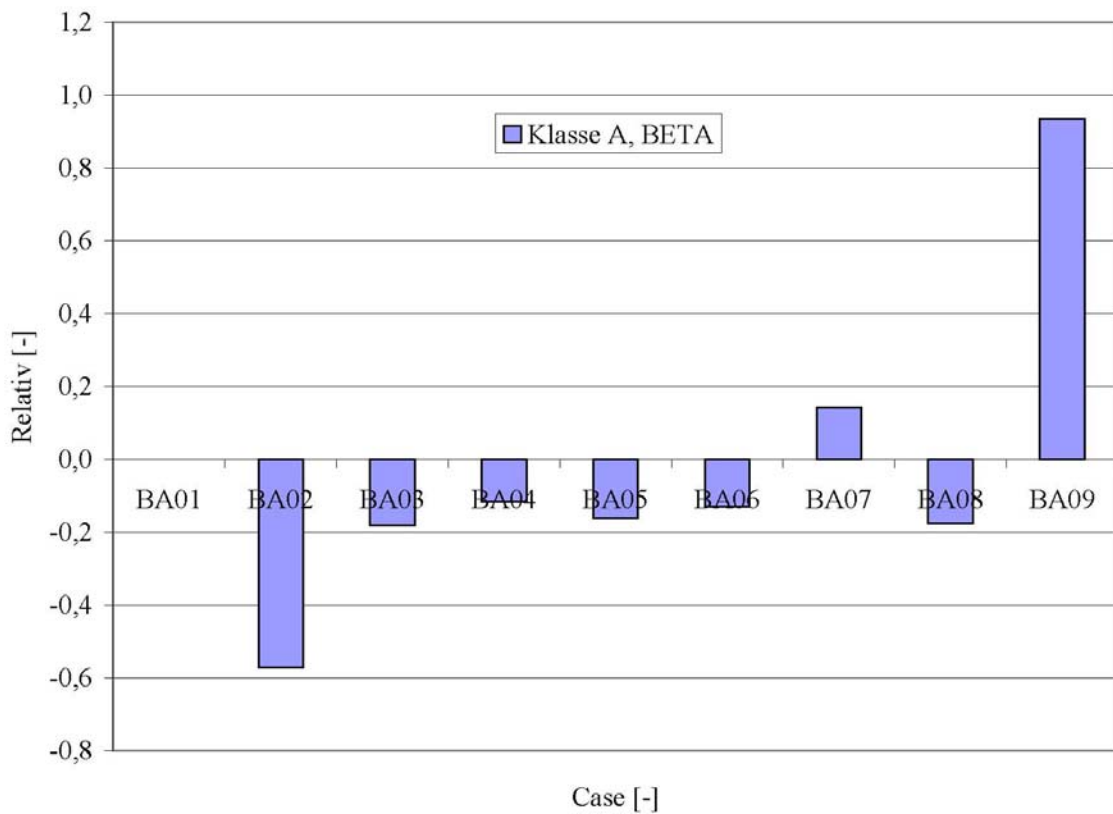
Ud fra simuleringerne er det forventede totale energiforbrug for BETA-bygningen opsummeret på Figur 7-4. For BETA-bygningen er der anvendt et ventilationsanlæg med varmegenindvinding, hvor virkningsgraden er på 70 % samt en samlet effektivitet af motor, ventilator etc. ligeledes på 70 %. Endvidere antages det, at der anvendes et anlæg med variable luftydelse, hvormed det specifikke elforbrug til lufttransport ikke må overskride  $2500 \text{ J/m}^3$  jævnfør [Aggerholm et al., 2007]. Der er endvidere mulighed for mekanisk køling. For køling angives det direkte forbrug til køling (køleenergi, dvs. ikke elforbrug), hvorfor der hverken tages højde for en faktor 2,5 eller COP for kølemaskinen.



**Figur 7-4:** Forventet energiforbrug i afhængighed af forventningsklasse for BETA-bygningen simuleret i BSim (det tilsvarende primære energiforbrug kan findes i bilag J).

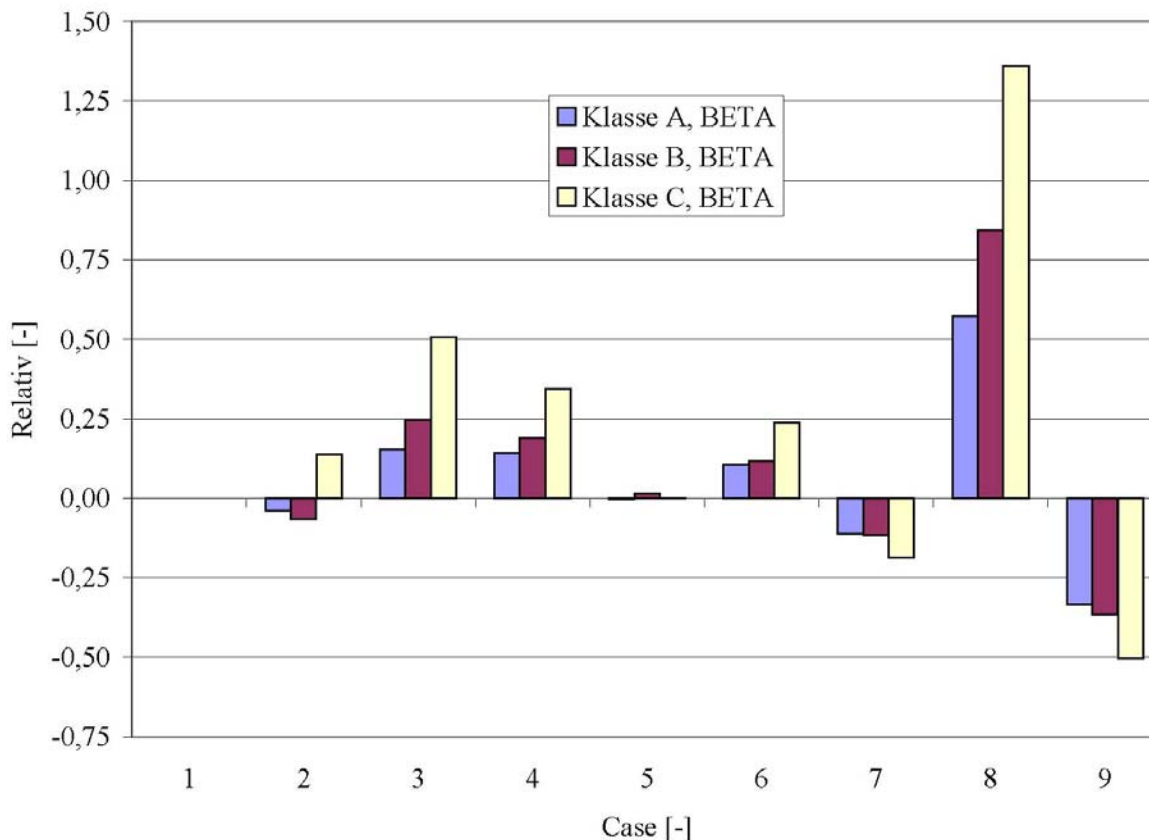
Som for ALFA-bygningen falder det totale energiforbrug i takt med faldende forventninger til indeklimaet, hvilket var at forvente, da det ønskede setpunkt for operative temperatur er lavere ved opvarmning for forventningsklasse C end A etc. samt et større tilladeligt interval for den operative temperatur. Ligeledes kan det for BETA-bygningen observeres, at der ikke er opvarmningsbehov for klasse C, da solindfald, belysning og udstyr giver tilstrækkeligt varmetilskud til at holde den ønskede operative temperatur. Det samme er gældende for klasse B på nær ved anvendelse af betydelig lysstyring. For alle simuleringerne kan det ses, at det forventede energiforbrug ligger under nøgletallenes median [Olsen et al., 2002].

Den relative ændring af varmeforbruget for BETA-bygningen ved forventningsklasse A er opsummeret på Figur 7-5. Her ses det, at en forøgelse af den termiske masse reducerer varmebehovet relativt 0,6 i forhold til udgangscasen BA01. For både ingen og betydelig solafskærmning reduceres varmebehovet i forhold til udgangscasen BA01, hvor varmebehovet dog reduceres mest, når betydelig solafskærmning anvendes, hvilket skyldes en højere  $g$ -værdi for ruden. Endvidere ses det, at varmeforbruget vokser kraftigt ved kontinuert lysstyring.



**Figur 7-5:** Relativ ændring af varmeforbruget i forhold til case BA01 bestemt ved parametervariation for BETA-bygning ved forventningsklasse A.

Parametrenes indflydelse på kølebehovet i afhængighed af forventningsklasse kan ses på Figur 7-6. Heraf kan det ses, at en forøgelse af den termiske masse reducerer kølebehovet, dog ikke for forventningsklasse C. Uden solafskærmning øges varmetilskuddet til rummet, hvormed kølebehovet vokser. Ydermere kan det ses, at kølebehovet vokser kraftigt, når der ikke anvendes nogen form for lysstyring.



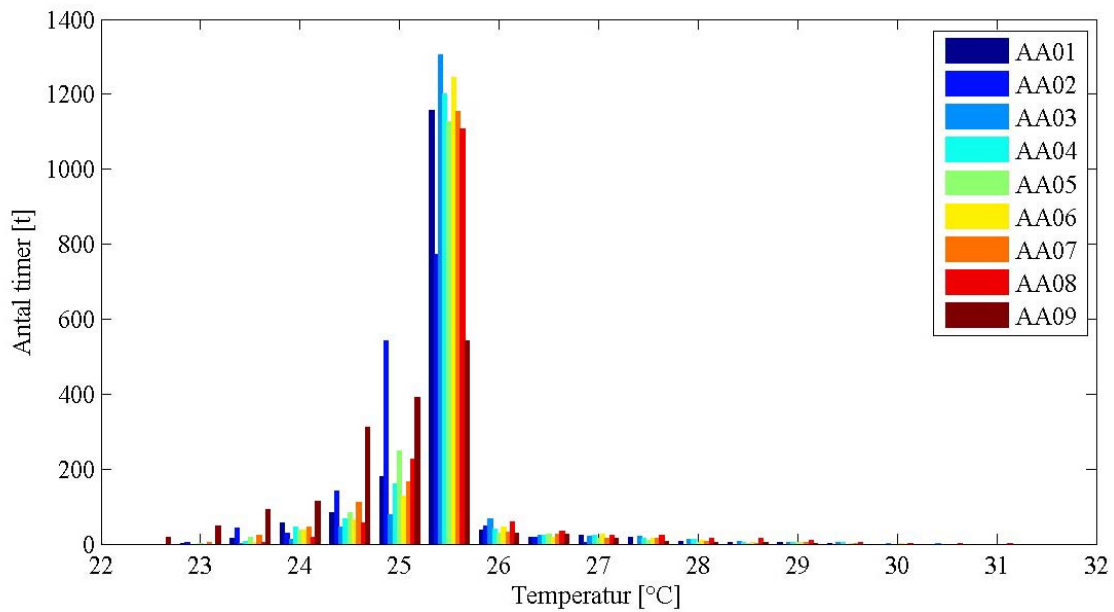
**Figur 7-6:** Relativ ændring af kølebehov i forhold til case 1 bestemt via parametervariation for BETA-bygningen ved forventningsklasse A, B og C.

## 7.2 Termisk indeklima

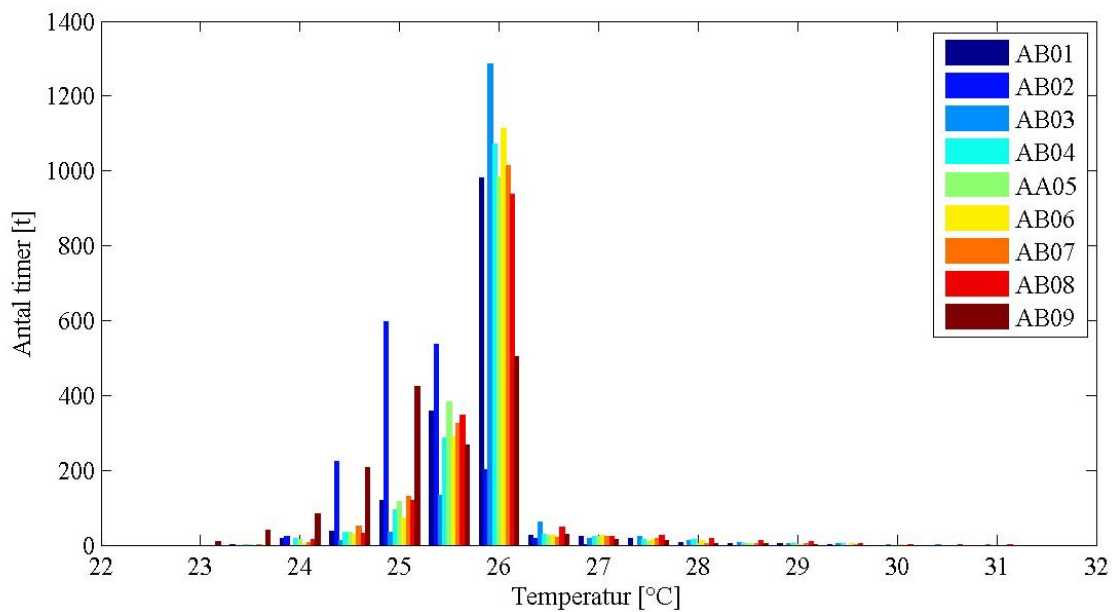
Bygningens ydeevne vedrørende det termiske indeklima belyses ved den operative temperatur bestemt via BSim simuleringerne i afhængighed af forventningsklasse samt ALFA- eller BETA-bygning for varmesæsonen og sommerperioden. Varmesæsonen går fra den 16. september til den 15. maj, hvor sommerperioden er fra den 16. maj til den 17. september. Resultaterne præsenteres ved hjælp af histogrammer og til sidst en tabel til opsummering af antal timer over henholdsvis 26 °C og 27 °C jævnfør vejledningerne i [DS 474, 1994].

### 7.2.1 Operativ temperatur – ALFA-bygning, sommer

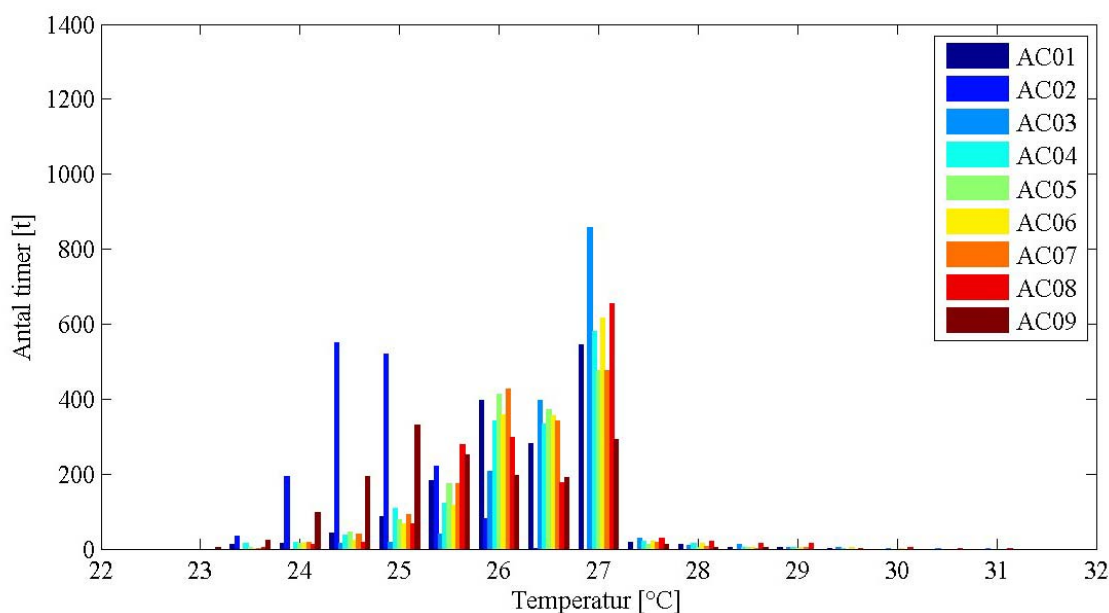
På Figur 7-7, Figur 7-8 og Figur 7-9 kan resultaterne med hensyn til den operative temperatur om sommeren for henholdsvis forventningsklasse A, B og C ses. På figurerne er hyppigheden af den operative temperatur i intervalspring af 0,5 °C vist.



**Figur 7-7:** Histogram for den operative temperatur for forventningsklasse A i sommerperioden for ALFA-bygningen. Nedre og øvre grænse for ønsket operativ temperatur er henholdsvis 23,5 °C og 25,5 °C jævnfør [CR 1752, 1998].



**Figur 7-8:** Histogram for den operative temperatur for forventningsklasse B i sommerperioden for ALFA-bygningen. Nedre og øvre grænse for ønsket operativ temperatur er henholdsvis 23 °C og 26 °C jævnfør [CR 1752, 1998].

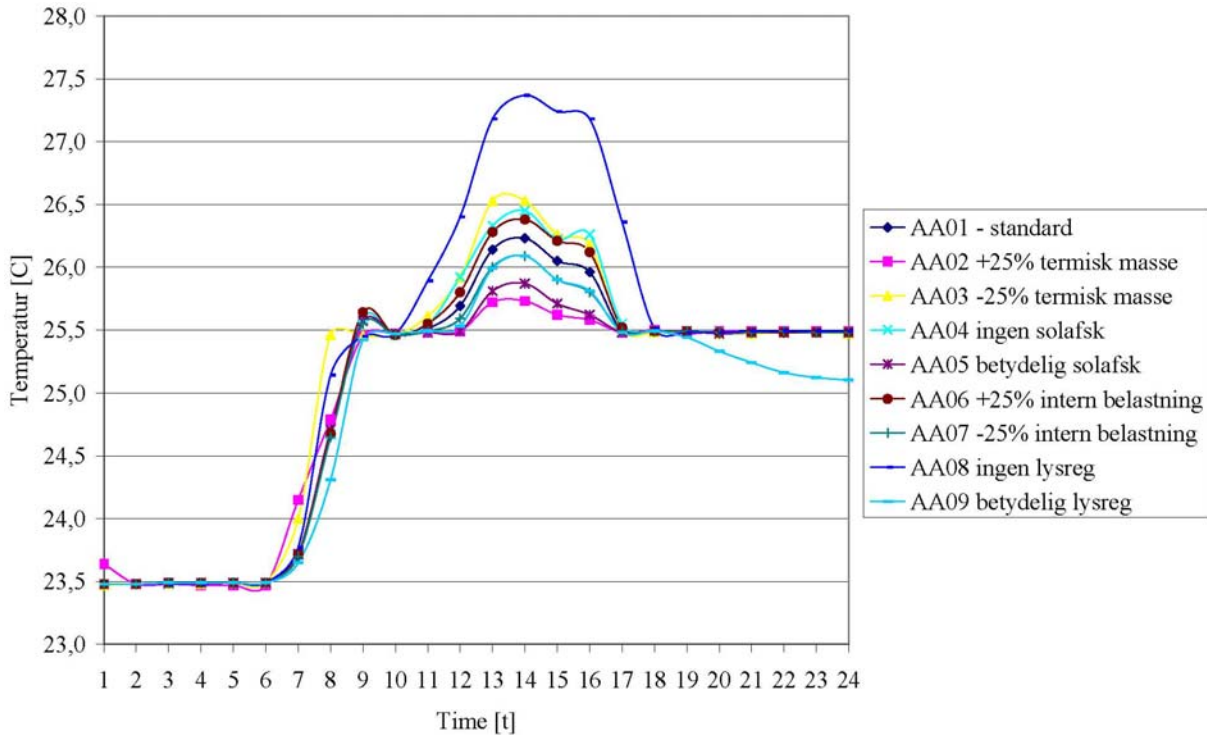


**Figur 7-9:** Histogram for den operative temperatur for forventningsklasse C i sommerperioden for ALFA-bygningen. Nedre og øvre grænse for ønsket operativ temperatur er henholdsvis 22 °C og 27 °C jævnfør [CR 1752, 1998].

Om sommeren for ALFA-bygningen følger det, at den operative temperatur har størst hyppighed omkring setpunktet for køling, som er 25,5 °C, 26 °C og 27 °C for henholdsvis forventningsklasse A, B og C. Endvidere kan det ses, at den termiske masse samt graden af lysstyring har størst indflydelse på fordelingen af den operative temperatur.

På Figur 7-10 kan temperaturprofilen for den 13. juli som typisk eksempel på en sommerdag for forventningsklasse A i afhængighed af parametervariation ses. Heraf fremgår det, at den operative temperatur følger den nedre grænse for døgnets første syv timer, hvor natkøling er aktiv. Herefter begynder den med at stige i takt med, at belysningen aktiveres og folk møder ind og tænder deres computer. Den operative temperatur overskrider den øvre grænse for alle casene, især når der ingen lysregulering anvendes. Endvidere kan det ses, at betydelig lysregulering, øgning af den termiske masse og betydelig solafskærmning er til gunst for at komme nærmere den øvre grænse for den operative temperatur. Efter klokken 17, hvor arbejdsstyrken reduceres til 10 %, falder værdien af den operative temperatur til den tilladte øvre værdi. For betydelig lysregulering falder den til en værdi under den øvre grænse, da varmetilskuddet reduceres betydeligt.

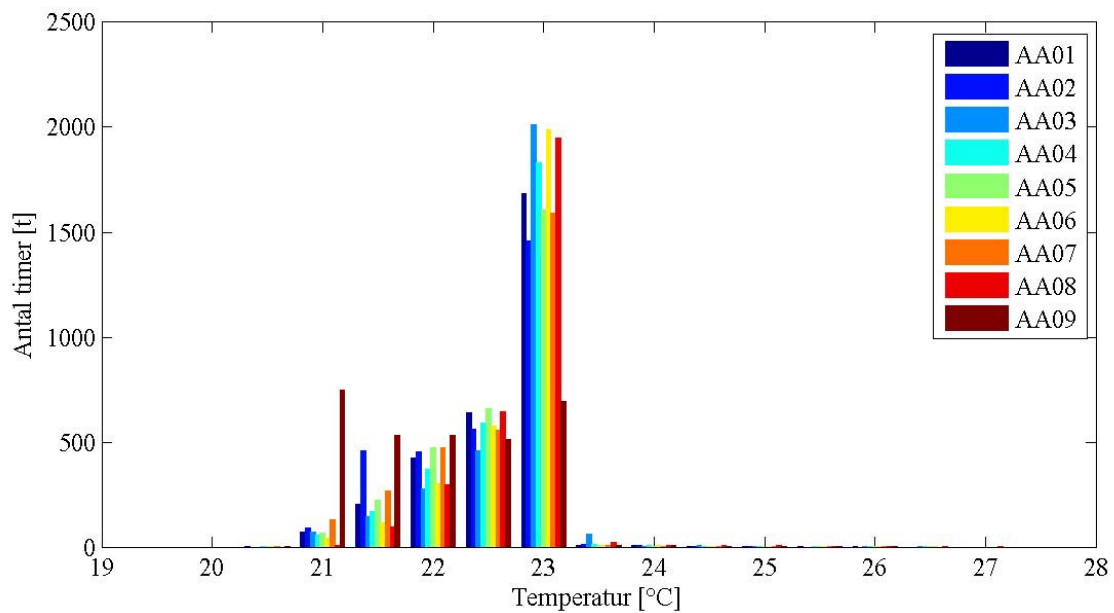
En lignende tendens kan observeres for forventningsklasse B og C, hvis temperaturprofil for den 13. juli kan ses i bilag F.



**Figur 7-10:** Temperaturprofil for den operative temperatur den 13. juli for forventningsklasse A, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse for den ønskede operative temperatur er henholdsvis 23,5 °C og 25,5 °C jævnfør [CR 1752, 1998].

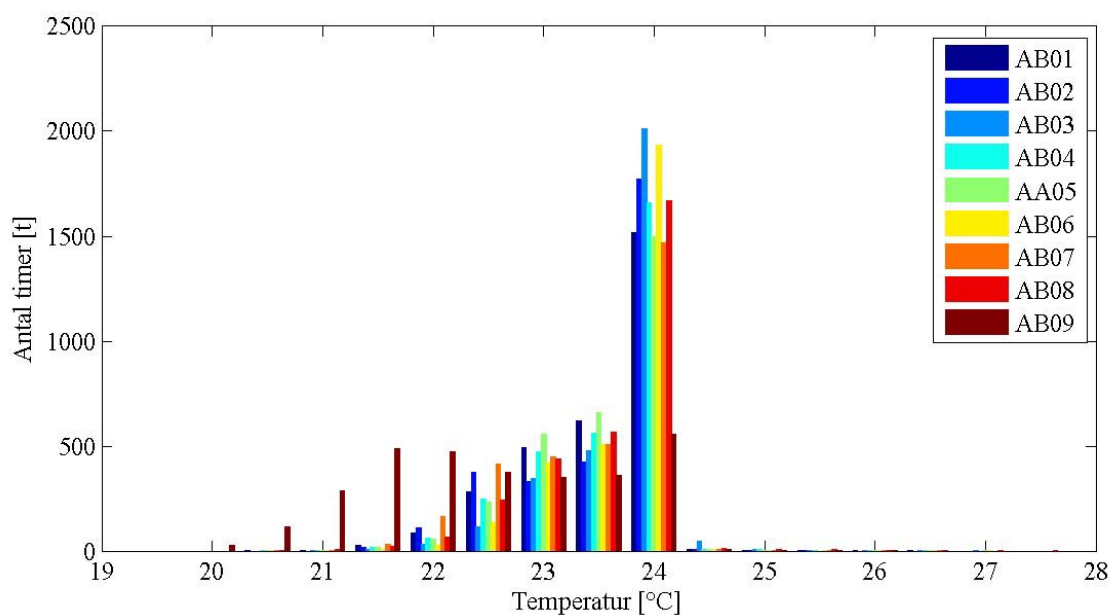
### 7.2.2 Operativ temperatur – ALFA-bygning, vinter

Den forventede operative temperatur om vinteren for forventningsklasse A, B og C kan ses på henholdsvis Figur 7-11, Figur 7-12 og Figur 7-13. På figurerne er hyppigheden af den operative temperatur i interval-spring af 0,5 °C vist.

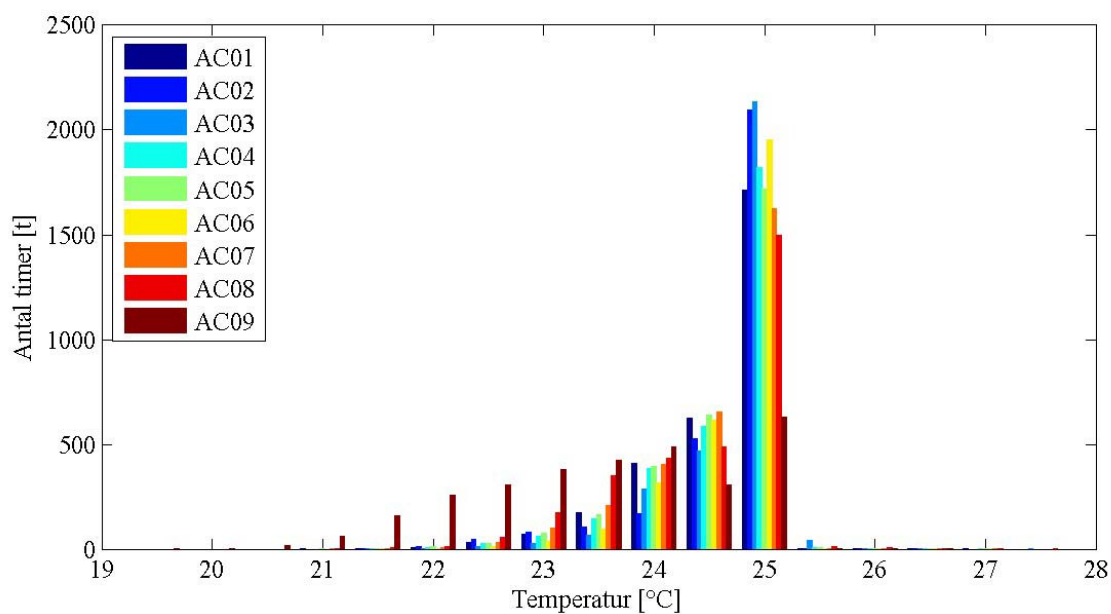


**Figur 7-11:** Histogram for den operative temperatur for forventningsklasse A om vinteren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse for ønsket operativ temperatur er henholdsvis 21 °C og 23 °C jævnfør [CR 1752, 1998].





**Figur 7-12:** Histogram for den operative temperatur for forventningsklasse B om vinteren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse for ønsket operativ temperatur er henholdsvis 20 °C og 24 °C jævnfør [CR 1752, 1998].

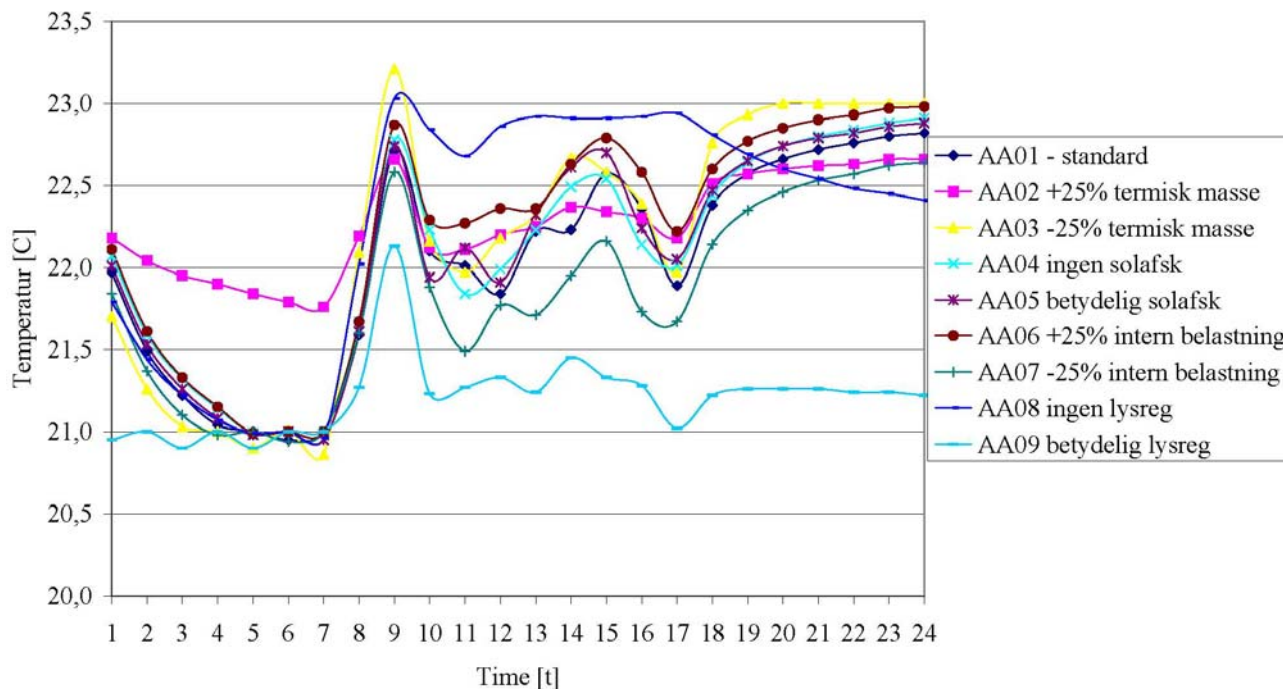


**Figur 7-13:** Histogram for den operative temperatur for forventningsklasse C om vinteren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse for ønsket operativ temperatur er henholdsvis 19 °C og 25 °C jævnfør [CR 1752, 1998].

For ALFA-bygningen ses det, at den operative temperatur tilnærmelsesvis aldrig overskrider setpunktet for køling, som er 23 °C, 24 °C og 25 °C for henholdsvis forventningsklasse A, B og C.

På Figur 7-14 ses temperaturprofilen for den operative temperatur den 29. november som eksempel på en typisk vinterdag ved forventningsklasse A. Heraf kan det ses, at den nedre og øvre grænse på henholdsvis 21

°C og 23 °C ikke overskrides nævneværdigt. De relativt små afvigelser kan evt. skyldes reguleringens træghed.



**Figur 7-14:** Temperaturprofil for den operative temperatur den 29. november for forventningsklasse A, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse for ønsket operativ temperatur er henholdsvis 21 °C og 23 °C jævnfør [CR 1752, 1998].

Ved at øge den termiske masse udglattes udsvinget af den operative temperatur sammenlignet med udgangspunktet, case AA01, hvor det modsatte ses at indtræffe, når den termiske masse reduceres, som det kan ses på Figur 7-14. Uden solafskærmning opnås mindre temperatursving sammenlignet med betydelig solafskærmning, hvilket skyldes, at rudens  $g$ -værdi er lavere for ingen solafskærmning. Dette er valgt for at reducere varmetilskuddet fra solen for herved at minimere sandsynligheden for overophedning med et større kølebehov til følge.

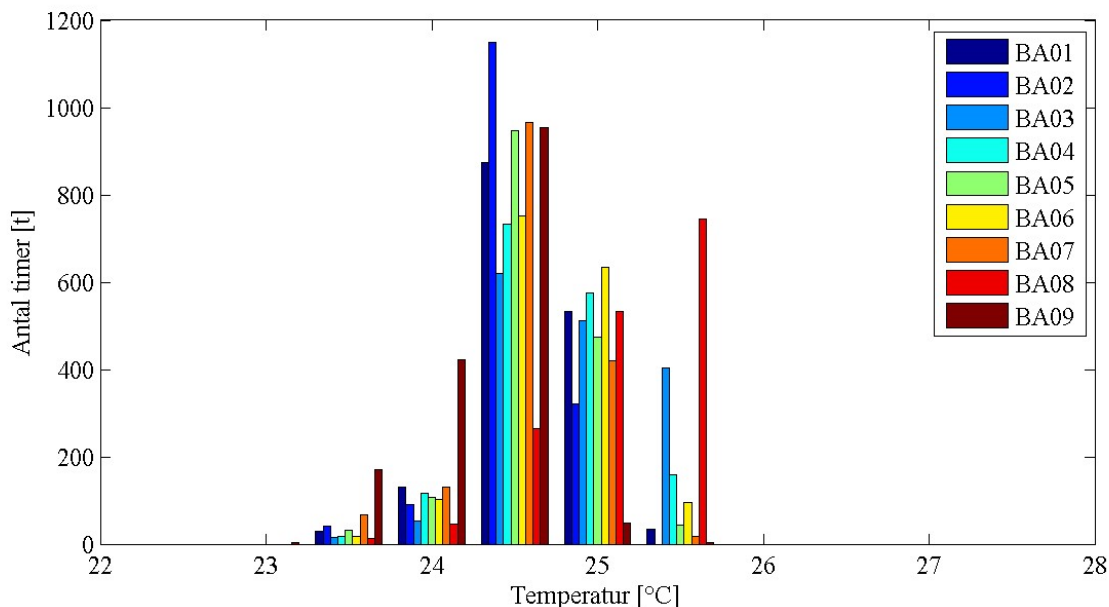
Udsvinget af den operative temperatur som følge af en ændring af den interne belastning, som kan ses på Figur 7-14, er at forvente, da varmetilskuddet til rummet ændres. Ydermere kan det ses, at det er graden af lysregulering, som har størst indflydelse på den operative temperatur.

Lignende tendens kan observeres for forventningsklasse B og C, hvis temperaturprofil for den 29. november kan ses i bilag F, hvor varighedskurver for varmesæsonen ligeledes kan ses.

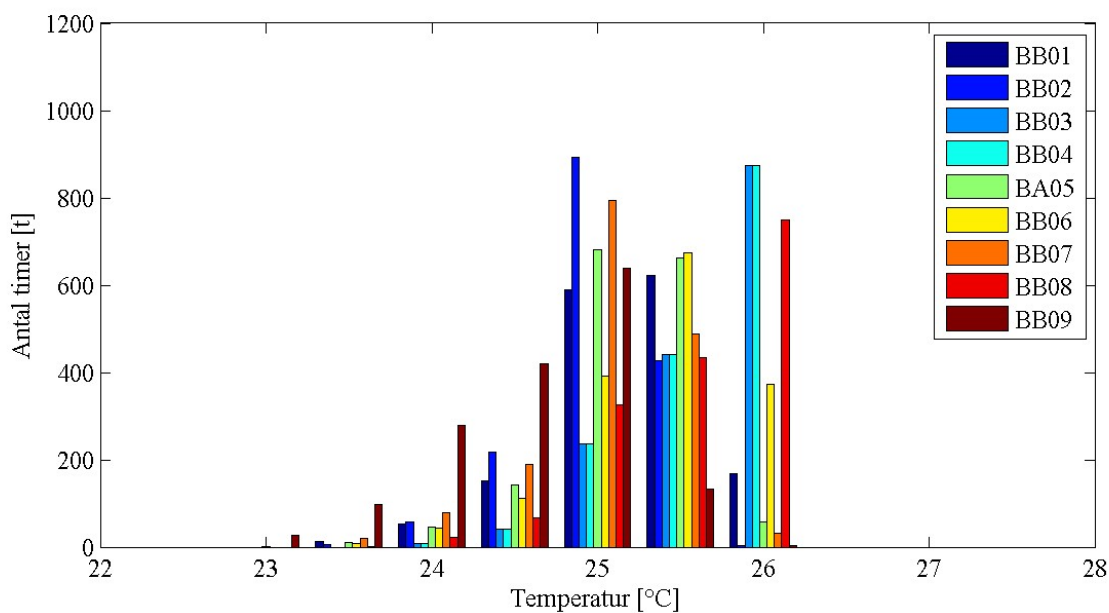
Ved sammenligning af Figur 7-10 og Figur 7-14 kan det ses, at det er nemmere at holde de ønskede setpunkter med ALFA-bygningen for varmesæsonen, end det er om sommeren. Dette fremgår også af de tre fordelinger af den operative temperatur på Figur 7-11, Figur 7-12 og Figur 7-13.

### 7.2.3 Operativ temperatur – BETA-bygning, sommer

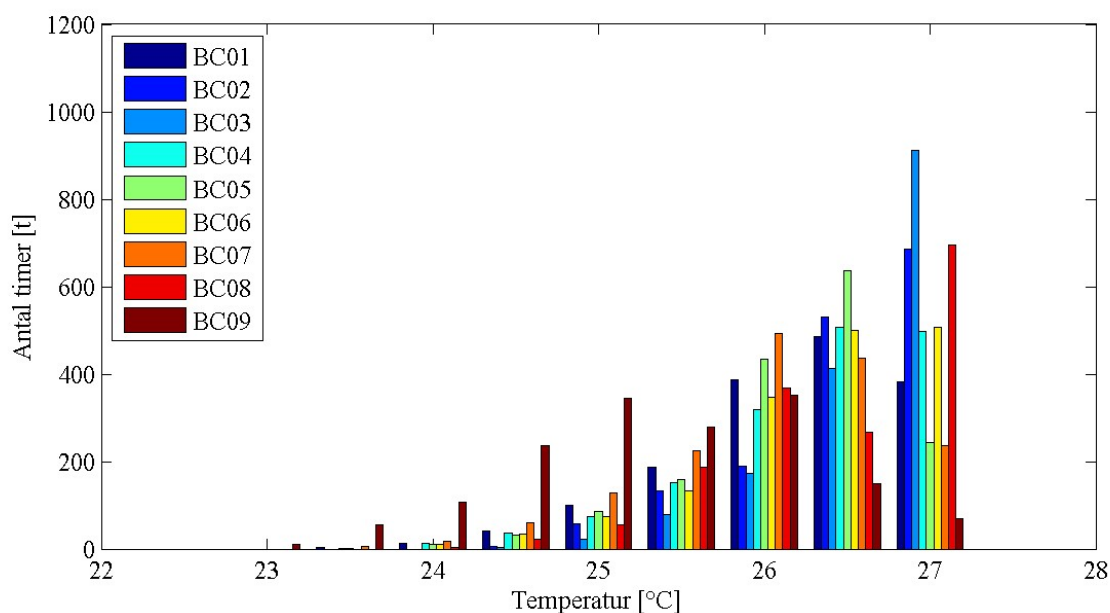
På Figur 7-15, Figur 7-16 og Figur 7-17 kan resultaterne for operative temperatur om sommeren for henholdsvis forventningsklasse A, B og C ses. På figurene er hyppigheden af den operative temperatur i intervalspring af 0,5 °C vist.



**Figur 7-15:** Histogram for den operative temperatur for forventningsklasse A om sommeren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse for den ønskede operative temperatur er henholdsvis 23,5 °C og 25,5 °C jævnfør [CR 1752, 1998].



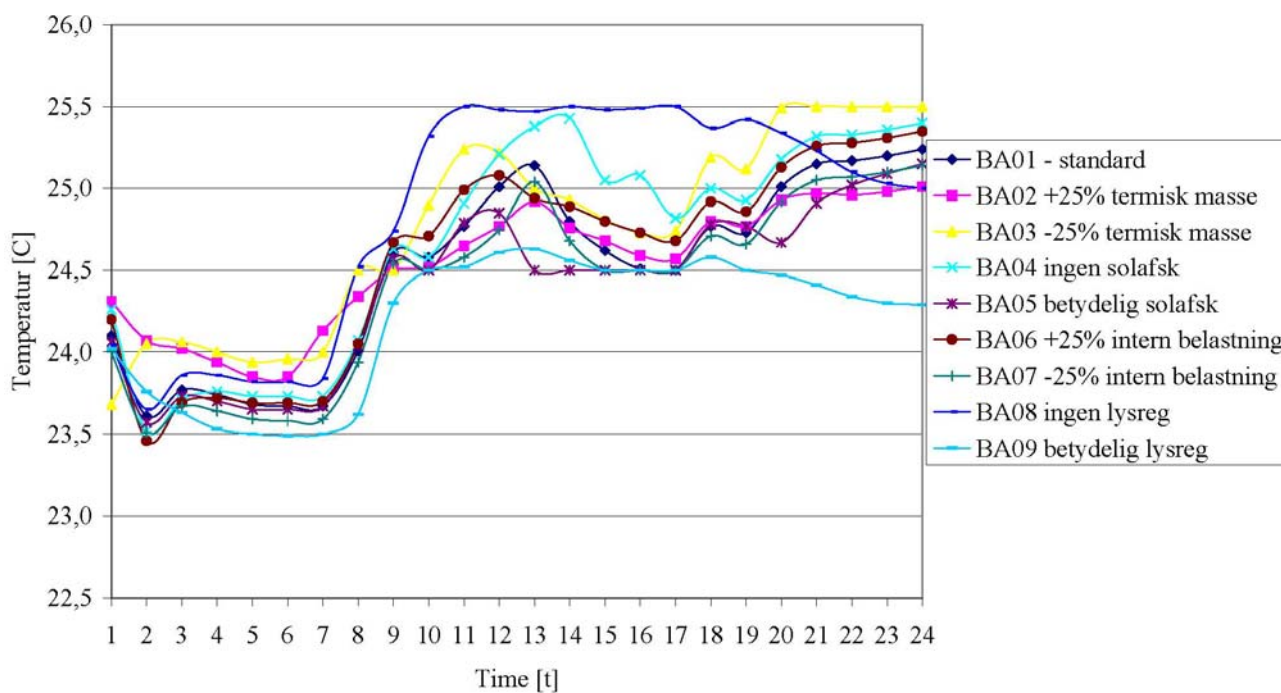
**Figur 7-16:** Histogram for den operative temperatur for forventningsklasse B om sommeren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse for den ønskede operative temperatur er henholdsvis 23 °C og 26 °C jævnfør [CR 1752, 1998].



**Figur 7-17:** Histogram for den operative temperatur for forventningsklasse C om sommeren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse for ønsket operativ temperatur er henholdsvis 22 °C og 27 °C jævnfør [CR 1752, 1998].

For de tre forventningsklasser tilhørende BETA-bygningen holdes den operative temperatur inden for den ønskede grænse om sommeren, hvilket også er forventeligt med mekanisk ventilation og køling.

På Figur 7-18 kan den operative temperaturs profil for den 13. juli ses som et typisk eksempel på en sommerdag ved forventningsklasse A.



**Figur 7-18:** Temperaturprofil for den operative temperatur den 13. juli for forventningsklasse A, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse for ønsket operativ temperatur er henholdsvis 23,5 °C og 25,5 °C jævnfør [CR 1752, 1998].

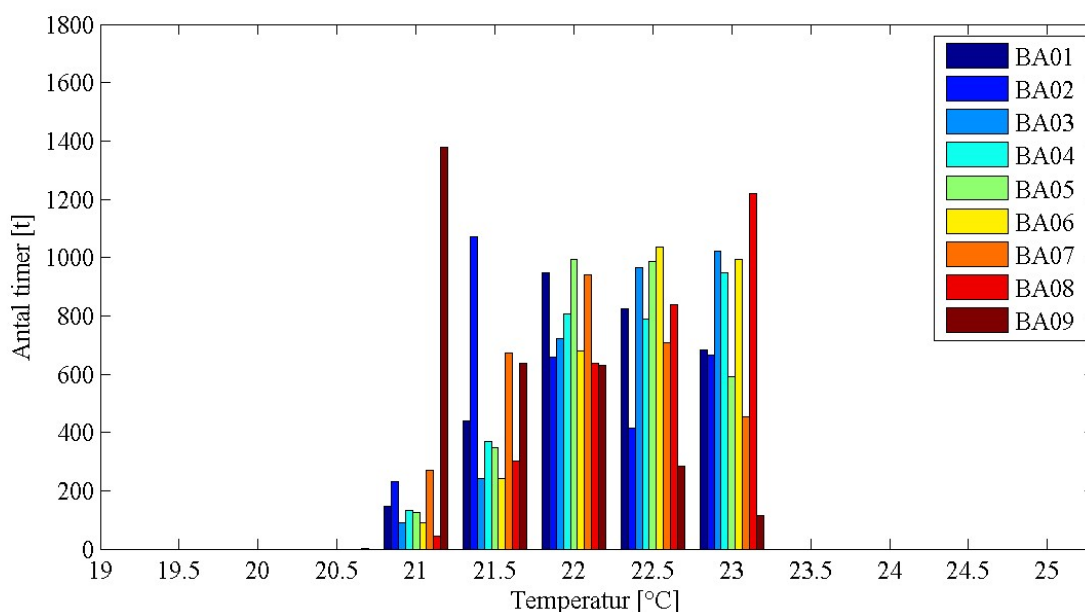
For en typisk varm dag overholdes den nedre og øvre grænseværdi for den operative temperatur på henholdsvis 23,5 °C og 25,5 °C for en BETA-bygning forventningsklasse A, som det kan ses på Figur 7-18. Som for ALFA-bygningen er det igen graden af lysregulering, der er den mest dominerende faktor for den operative temperatur på nær, når natkølingen er aktiv eller de sidste syv timer af arbejdsdagen.

Der kan drages samme konklusioner vedrørende parametrene betydning for den operative temperaturs forløb for en BETA-bygning om sommeren, da delvis samme forløb indtræffer. Den nedre og øvre grænse overskrides dog i nogle tilfælde for en ALFA-bygning om sommeren, men forløbet har samme tendens som for en BETA-bygning.

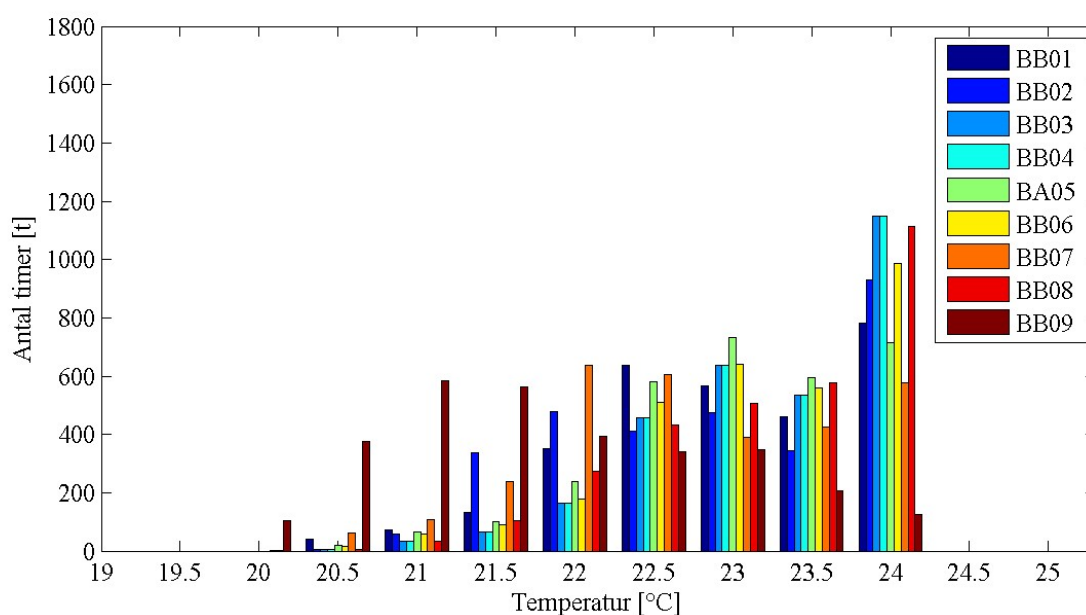
For forventningsklasse B og C, hvis temperaturprofil for den 13. juli kan ses i bilag F, kan lignende tendenser observeres. Her kan varighedskurver for sommeren ligeledes ses.

#### 7.2.4 Operativ temperatur – BETA-bygning, vinter

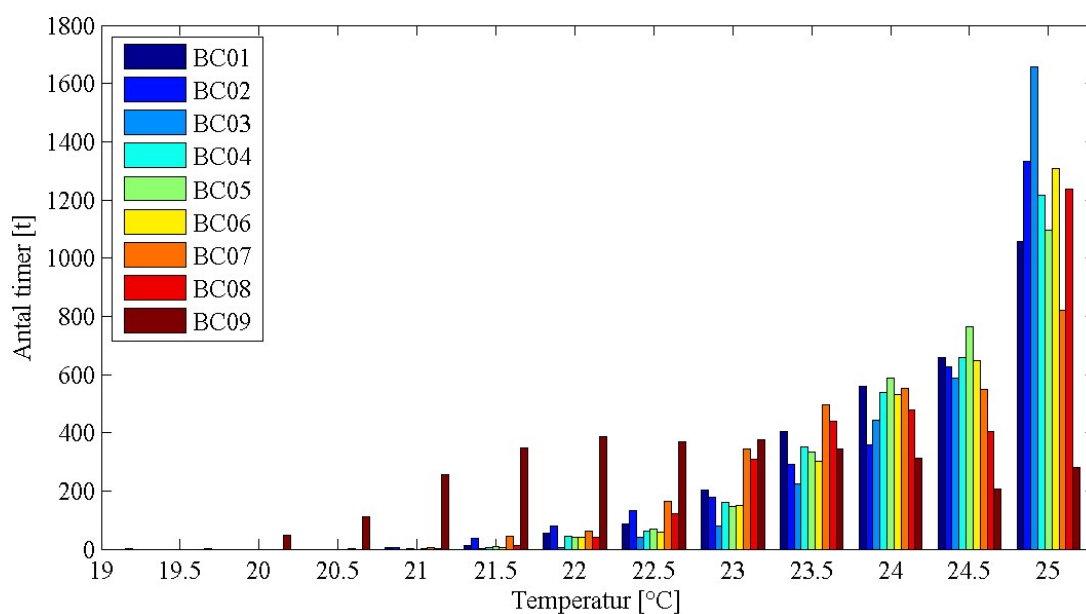
Den operative temperatur om vinteren for forventningsklasse A, B og C kan ses på henholdsvis Figur 7-19, Figur 7-20 og Figur 7-21. På figurerne er hyppigheden af den operative temperatur i intervallspring af 0,5 °C vist.



**Figur 7-19:** Histogram for den operative temperatur for forventningsklasse A om vinteren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse for ønsket operativ temperatur er henholdsvis 21 °C og 23 °C jævnfør [CR 1752, 1998].



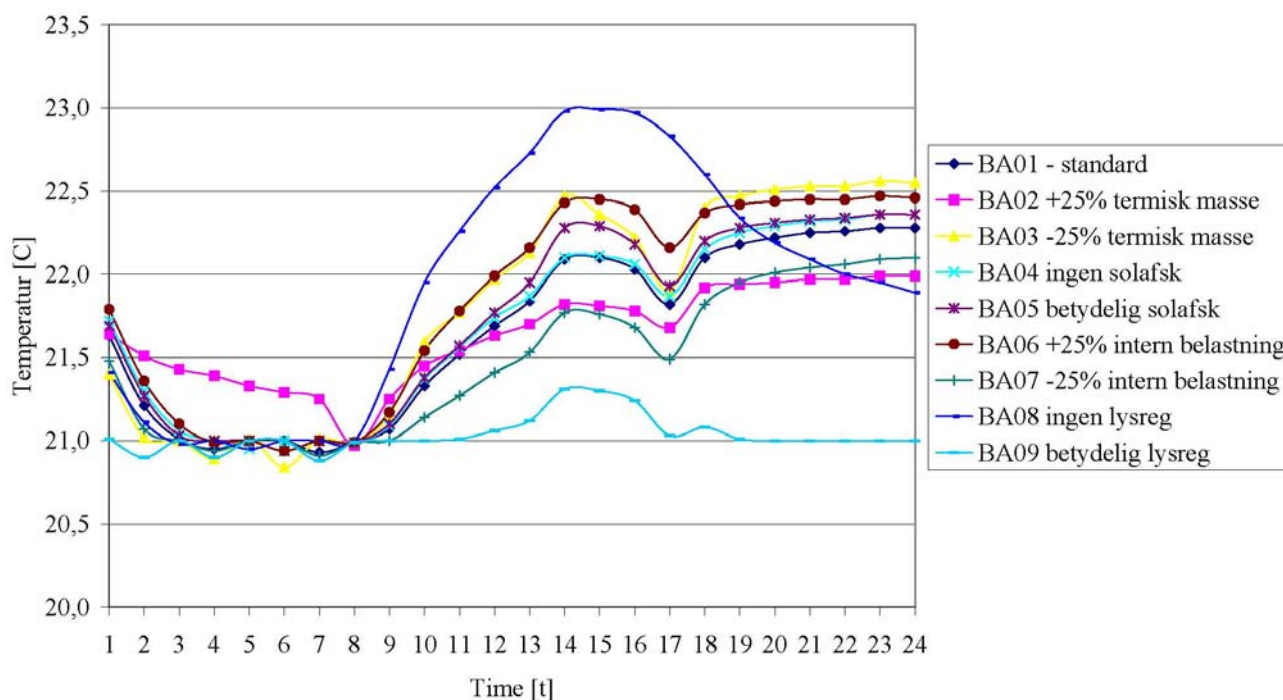
**Figur 7-20:** Histogram for den operative temperatur for forventningsklasse B om vinteren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse for ønsket operativ temperatur er henholdsvis 20 °C og 24 °C. jævnfør [CR 1752, 1998].



**Figur 7-21:** Histogram for den operative temperatur for forventningsklasse C om vinteren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse for ønsket operativ temperatur er henholdsvis 19 °C og 25 °C jævnfør [CR 1752, 1998].

For forventningsklasse A er den operative temperatur karakteriseret ved at være nogenlunde jævnt fordelt mellem 21 - 23 °C, hvor den for forventningsklasse B og C antager en højere hyppighed mod setpunktet for køling som er henholdsvis 23 °C, 24 °C og 25 °C for forventningsklasse A, B og C. Der ses også en større hyppighed af lavere temperatur omkring setpunktet for opvarmning ved kontinuert lysstyring og ved en forøgelse af den termiske masse.

Den operative temperaturs profil for en typisk kold dag ved forventningsklasse A kan ses på Figur 7-22.



**Figur 7-22:** Temperaturprofil for den operative temperatur den 29. november for forventningsklasse A, BETA-bygning. Nedre og øvre ønsket operativ temperatur er henholdsvis 21 °C og 23 °C jævnt [CR 1752, 1998].

Som forventet holdes den operative temperatur indenfor den nedre og øvre værdi på henholdsvis 21 °C og 23 °C. Der indtræffer dog små sving under 21 °C om natten, hvor varmetilskuddet i bygningen er lavest. Udsvingene tilskrives reguleringens træghed.

Ved sammenligning af den operative temperatur på Figur 7-14 og Figur 7-22 kan det ses, at de har samme principielle forløb, hvorfor samme konklusion kan drages. For at tydeliggøre betydningen af graden af lysregulering kan det ses på Figur 7-22, at det netop er lysreguleringen, som har størst indflydelse på den operative temperatur i dagtimerne.

Lignende tendens kan observeres for forventningsklasse B og C, hvis temperaturprofil for den 29. november kan ses i bilag F. Her kan der ligeledes ses varighedskurver for den operative temperatur for varmesæsonen.

### 7.2.5 Operativ temperatur i forhold til DS 474 vejledning

I det følgende belyses det, hvor mange timer den operative temperatur kan forventes at være over henholdsvis 26 °C og 27 °C i det betragtede kontorudsnit i afhængighed af forventningsklasse og parametervariation. I henhold til [DS 474, 1994] bør den operative temperatur i brugstiden for et typisk år ikke overskride 26 °C i mere end 100 timer og 27 °C i mere end 25 timer.

I Tabel 7-1 er antallet af timer over 26 °C og 27 °C opsummeret i henhold til forventningsklasse og parametervariation. Grundet styringen i BSim er der ved optællingen af antallet af timer anvendt, hvor mange timer den operative temperatur er større end henholdsvis 26,2 °C og 27,2 °C for at få et mere reelt billede. I bilag F



kan antallet af timer, hvor den operative temperatur er større end henholdsvis 26,0 °C og 27,0 °C findes til sammenligning.

<b>Klasse A</b>	<b>AA01</b>	<b>AA02</b>	<b>AA03</b>	<b>AA04</b>	<b>AA05</b>	<b>AA06</b>	<b>AA07</b>	<b>AA08</b>	<b>AA09</b>
Timer > 26 °C	77	27	96	91	59	87	73	134	62
Timer > 27 °C	33	0	49	39	19	37	30	74	22
	<b>BA01</b>	<b>BA02</b>	<b>BA03</b>	<b>BA04</b>	<b>BA05</b>	<b>BA06</b>	<b>BA07</b>	<b>BA08</b>	<b>BA09</b>
Timer > 26 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Timer > 27 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Klasse B</b>	<b>AB01</b>	<b>AB02</b>	<b>AB03</b>	<b>AB04</b>	<b>AB05</b>	<b>AB06</b>	<b>AB07</b>	<b>AB08</b>	<b>AB09</b>
Timer > 26 °C	92	21	154	100	75	105	82	155	72
Timer > 27 °C	36	0	57	43	21	41	32	80	24
	<b>BB01</b>	<b>BB02</b>	<b>BB03</b>	<b>BB04</b>	<b>BB05</b>	<b>BB06</b>	<b>BB07</b>	<b>BB08</b>	<b>BB09</b>
Timer > 26 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Timer > 27 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Klasse C</b>	<b>AC01</b>	<b>AC02</b>	<b>AC03</b>	<b>AC04</b>	<b>AC05</b>	<b>AC06</b>	<b>AC07</b>	<b>AC08</b>	<b>AC09</b>
Timer > 26 °C	909	9	1356	1000	920	1067	901	953	525
Timer > 27 °C	41	0	71	48	23	51	33	95	24
	<b>BC01</b>	<b>BC02</b>	<b>BC03</b>	<b>BC04</b>	<b>BC05</b>	<b>BC06</b>	<b>BC07</b>	<b>BC08</b>	<b>BC09</b>
Timer > 26 °C	919	1247	1340	1048	925	1058	726	991	236
Timer > 27 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabel 7-1:** Antal timer hvor den operative temperatur overskrider henholdsvis 26 °C og 27 °C jævnfør [DS 474, 1994] (se oversigt over simuleringer i Tabel 5-1).

For ALFA-bygningen kan det ud fra Tabel 7-1 ses, at det er udfordrende at holde antallet af timer med temperaturer over 27 °C under de vejledende 25 timer. Ud fra tabellen ses det dog, at det vejledende krav er forholdsvis tæt på at være opfyldt på nær case AA03 og AA08. Det vurderes derfor, at en ”tuning” af bygningen vil kunne bringe kravene til opfyldelse. Hvis BETA-bygningen betragtes, er der som forventet ingen problemer med at opfylde det vejledende krav på nær ved forventningsklasse C, hvor det er givet *a priori* på grund af de brede grænser, som klassen foreskriver.

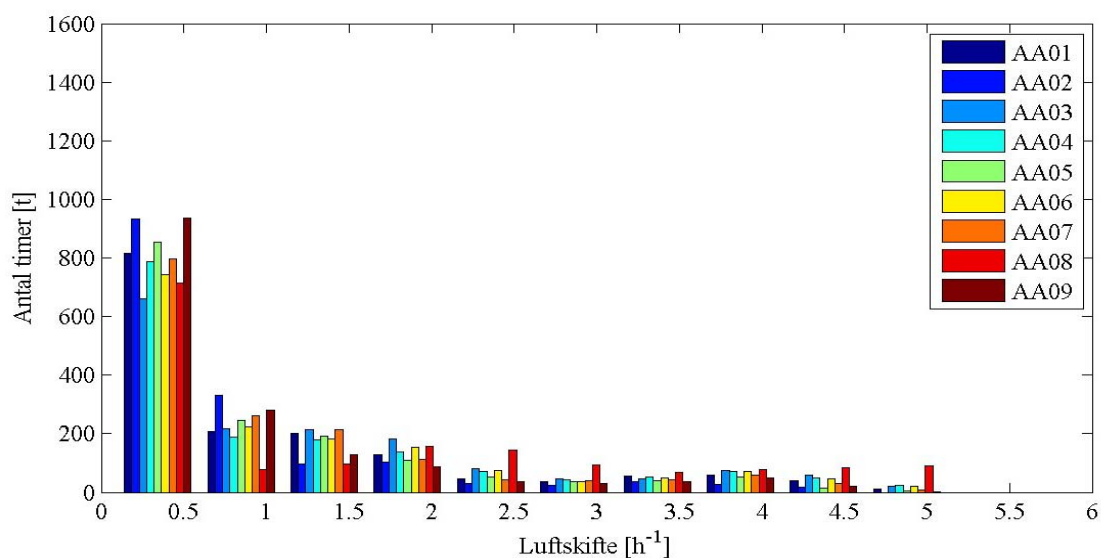
### 7.3 Atmosfærisk indeklima

I afhængighed af forventningsklasse belyses bygningens ydeevne ved hjælp af luftskifte og CO<sub>2</sub> koncentration i rummet for varmesæsonen og sommerperioden for ALFA-bygningen. Varmesæsonen går fra den 16. september til den 15. maj, hvor sommerperioden er fra den 16. maj til den 17. september. Der præsenteres ikke resultater for BETA-bygningen, da den er mekanisk konditioneret og dermed ”tvunget” til at opfylde kravene. I bilag G kan histogrammer, varighedskurver samt udviklingen af CO<sub>2</sub> koncentrationen for en typisk kold og varm dag for BETA-bygningen dog findes.

#### 7.3.1 Luftskifte – ALFA-bygning, sommer

Histogrammer for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A kan ses på Figur 7-23, hvor en relativ høj frekvens ved lave luftskifter kan ses.

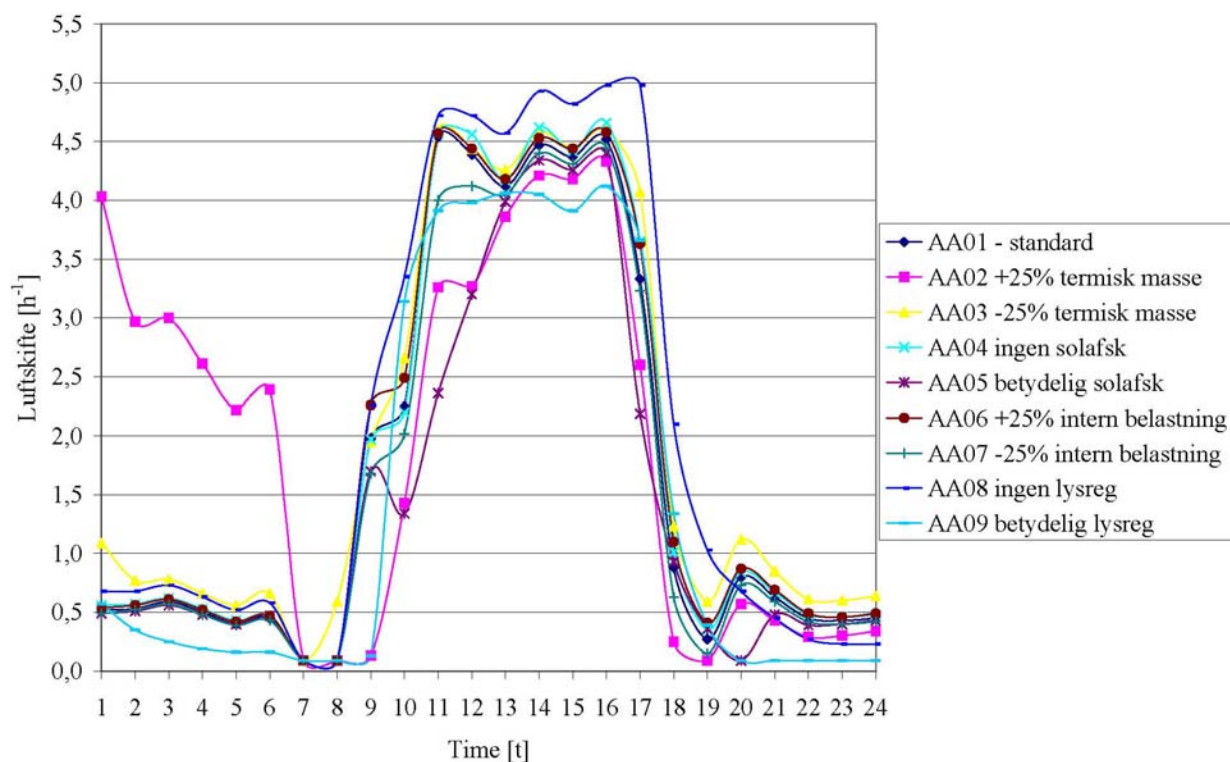




**Figur 7-23:** Histogram for luftskifte i forhold til parametervariation for forventningsklasse A om sommeren, ALFA-bygning.

Samme tendens kan observeres for forventningsklasse B og C dog med en højere hyppighed af lave værdier for luftskiftet, som det kan ses i bilag G. Dette skyldes en kombination af et svagere krav til både det atmosfæriske og termiske indeklima.

På Figur 7-24 kan et profil af luftskiftet for forventningsklasse A den 13. juli i afhængighed af parametervariation ses.

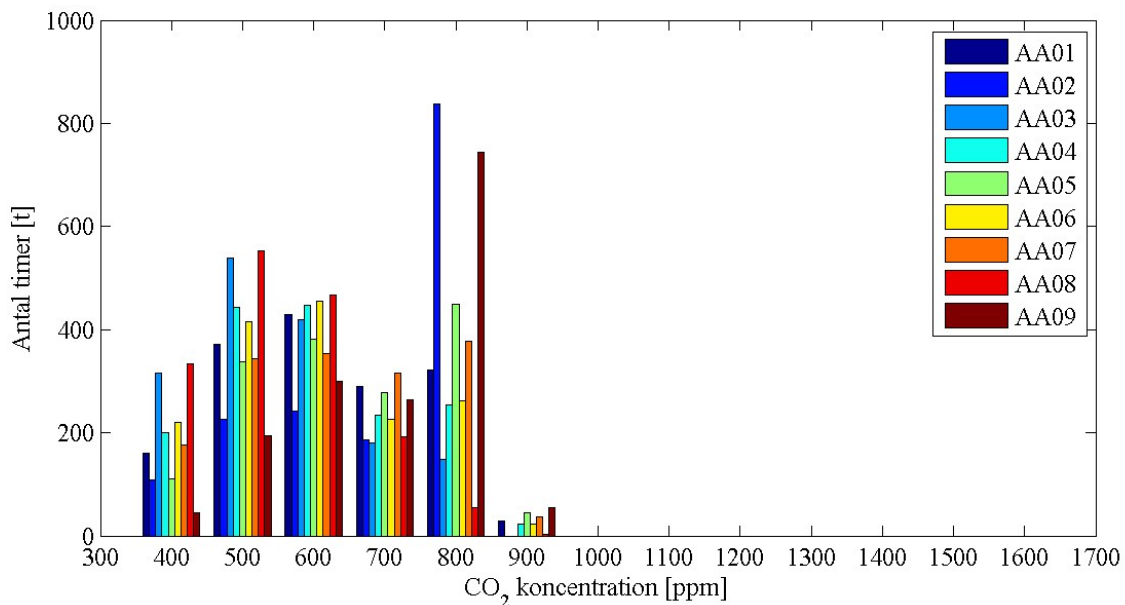


**Figur 7-24:** Profil af luftskiftet for forventningsklasse A den 13. juli, ALFA-bygning.

Luftskiftet er større, når natkølingen er aktiv fra time 1 - 6 for case AA02. Ved betragtning af Figur 7-24 kan det ses, at de største luftskifter findes, hvor varmetilskuddet er størst. For at minimere risikoen for trækgener kan Figur 7-24 indikere, at varmetilskuddet bør reduceres for at reducere kølebehovet og dermed lufttilførslen i bygningen.

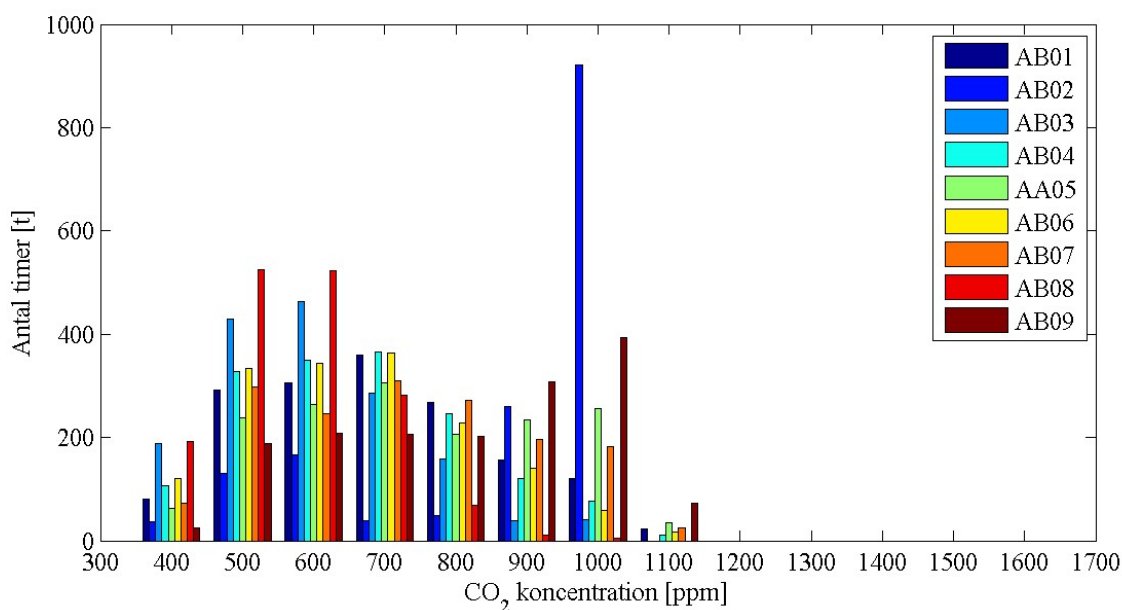
### 7.3.2 CO<sub>2</sub> koncentration – ALFA-bygning, sommer

Histogrammer for CO<sub>2</sub> koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A, B og C kan ses på Figur 7-25, Figur 7-26 og Figur 7-27. På figurerne er hyppigheden af CO<sub>2</sub> koncentrationen i intervallspring af 100 ppm vist. I bilag G kan de tilsvarende varighedsdiagrammer for forventningsklasserne ses.

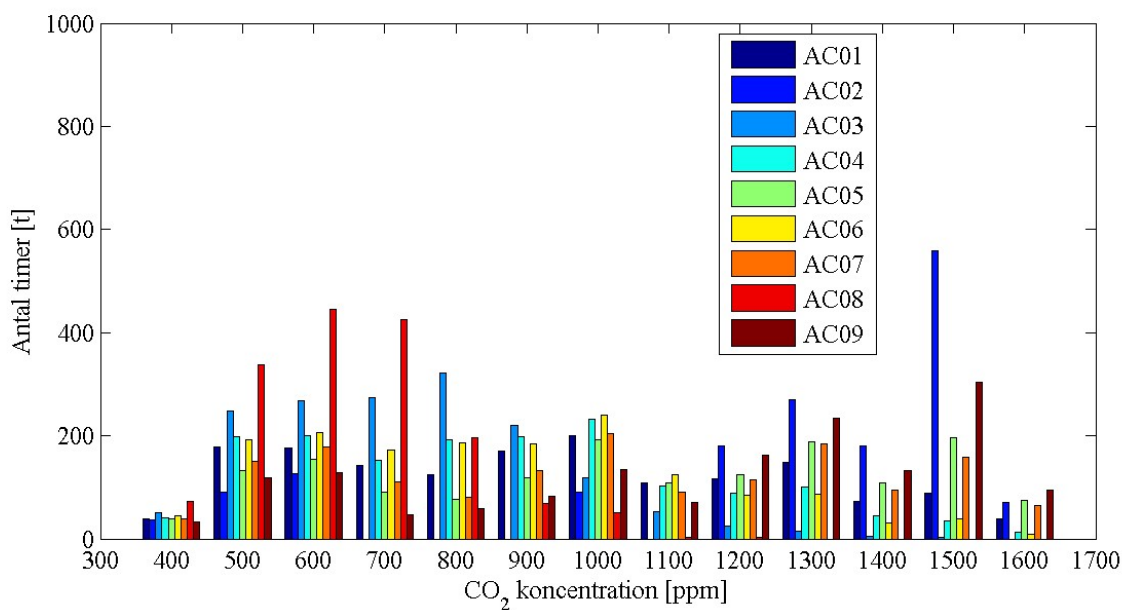


**Figur 7-25:** Histogram for CO<sub>2</sub> koncentration for forventningsklasse A om sommeren, ALFA-bygning. Øvre grænse for CO<sub>2</sub> koncentration er 810 ppm jævnfør [CR 1752, 1998].

AA02 er høj fordi den ekstra bygningsmasse reducerer behovet for ventilation pga. forøget temperatur. AA09 er høj fordi betydelig lysstyring reducerer behovet for ventilation pga. forøget temperatur.



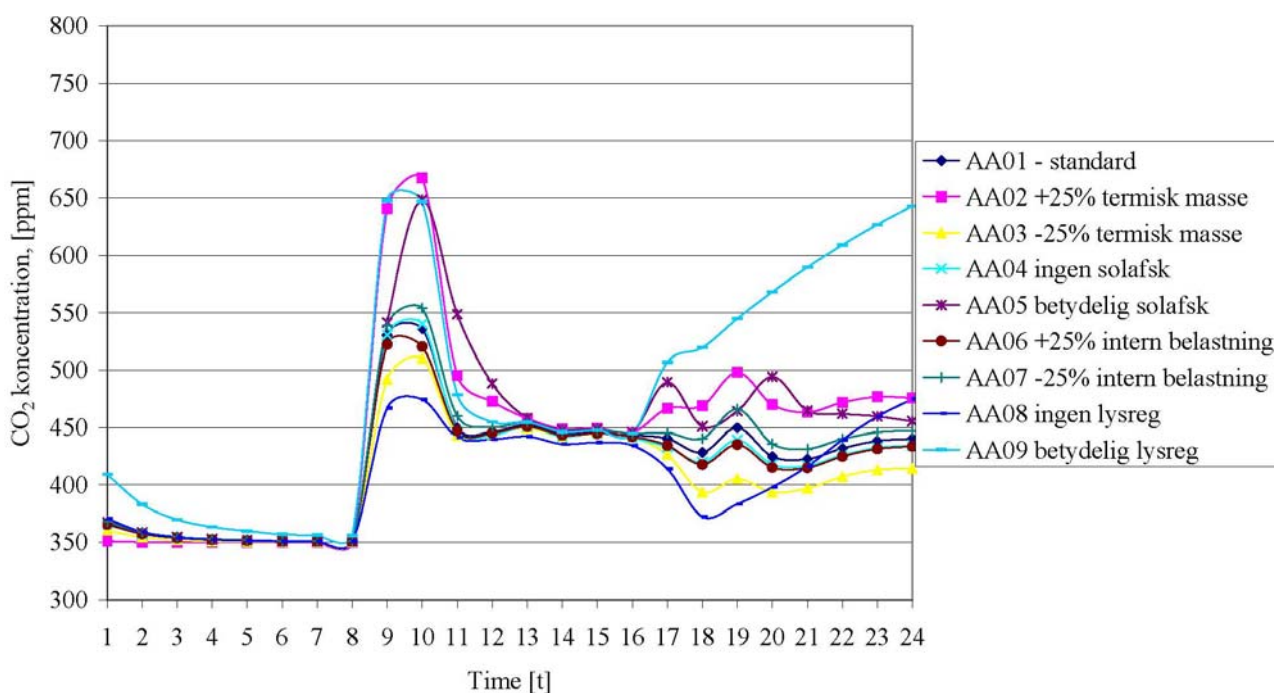
**Figur 7-26:** Histogram for CO<sub>2</sub> koncentration for forventningsklasse B om sommeren, ALFA-bygning. Øvre grænse for CO<sub>2</sub> koncentration er 1010 ppm jævnfør [CR 1752, 1998].



**Figur 7-27:** Histogram for CO<sub>2</sub> koncentration for forventningsklasse C om sommeren, ALFA-bygning. Øvre grænse for CO<sub>2</sub> koncentration er 1540 ppm jævnfør [CR 1752, 1998].

For alle tre forventningsklasser kan det ses, at den øvre grænse for CO<sub>2</sub> koncentrationen i indeluften tilnærmelsesvis overholdes. Der henvises endvidere til bilag G, hvor et mere detaljeret billede af antallet af timer over den øvre grænse for CO<sub>2</sub> i indeluften kan ses. Det relativt høje antal timer med lave CO<sub>2</sub> koncentrationer skyldes antallet af timer, hvor arbejdsstyrken er på 10 %.

Udviklingen af CO<sub>2</sub> koncentrationen for forventningsklasse A den 13. juli som eksempel på en typisk sommerdag i afhængighed af parametervariation kan ses på Figur 7-28.



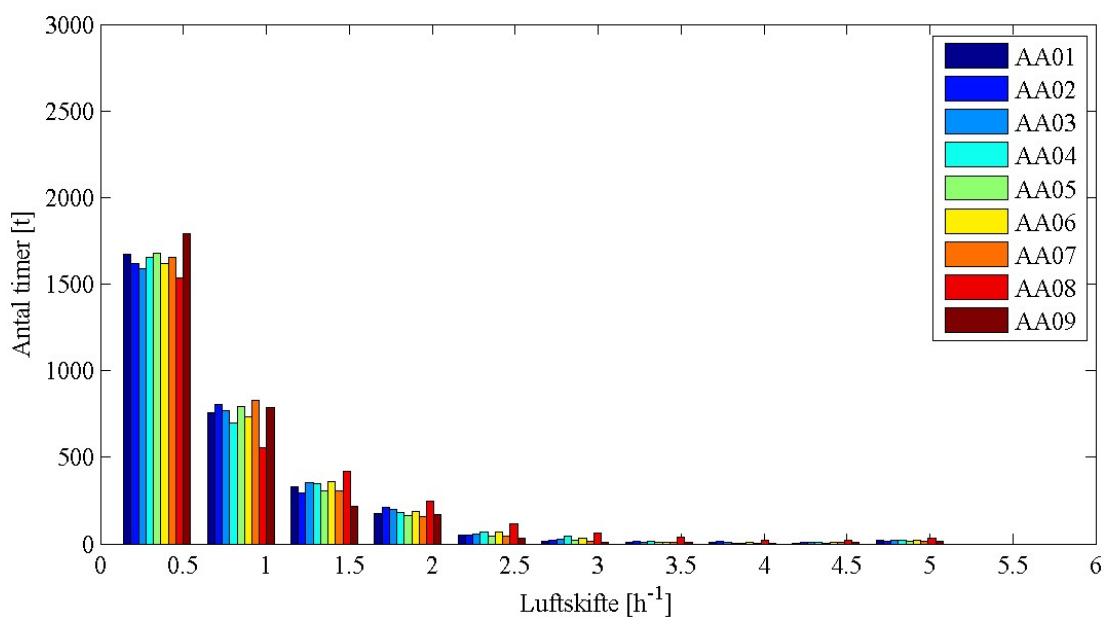
**Figur 7-28:** Profil af CO<sub>2</sub> koncentrationen for forventningsklasse A den 13. juli, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration er 810 ppm jævnfør [CR 1752, 1998].

Som det kan ses ud fra Figur 7-28, overskrides den tilladelige grænse på 810 ppm ikke for nogen af casene. Udviklingen af CO<sub>2</sub> koncentrationen skal tolkes i afhængighed af den operative temperatur i rummet, som luftskiftet afhænger af. Hvis den operative temperatur er tæt på den øvre grænse aktiveres den naturlige ventilation, hvormed den operative temperatur forsøges sænket og samtidig vil reducere CO<sub>2</sub> koncentrationen. Denne tendens ses på Figur 7-28, hvor casene med høj operativ temperatur har en højere CO<sub>2</sub> koncentration samtidig med at luftskiftet også er lavere.

Lignende tendens som indtræffer på Figur 7-28 gælder for forventningsklasse B og C, hvilket kan ses i bilag G, hvor varighedskurver vedrørende CO<sub>2</sub> koncentrationen for sommerperioden også kan ses.

### 7.3.3 Luftskifte – ALFA-bygning, vinter

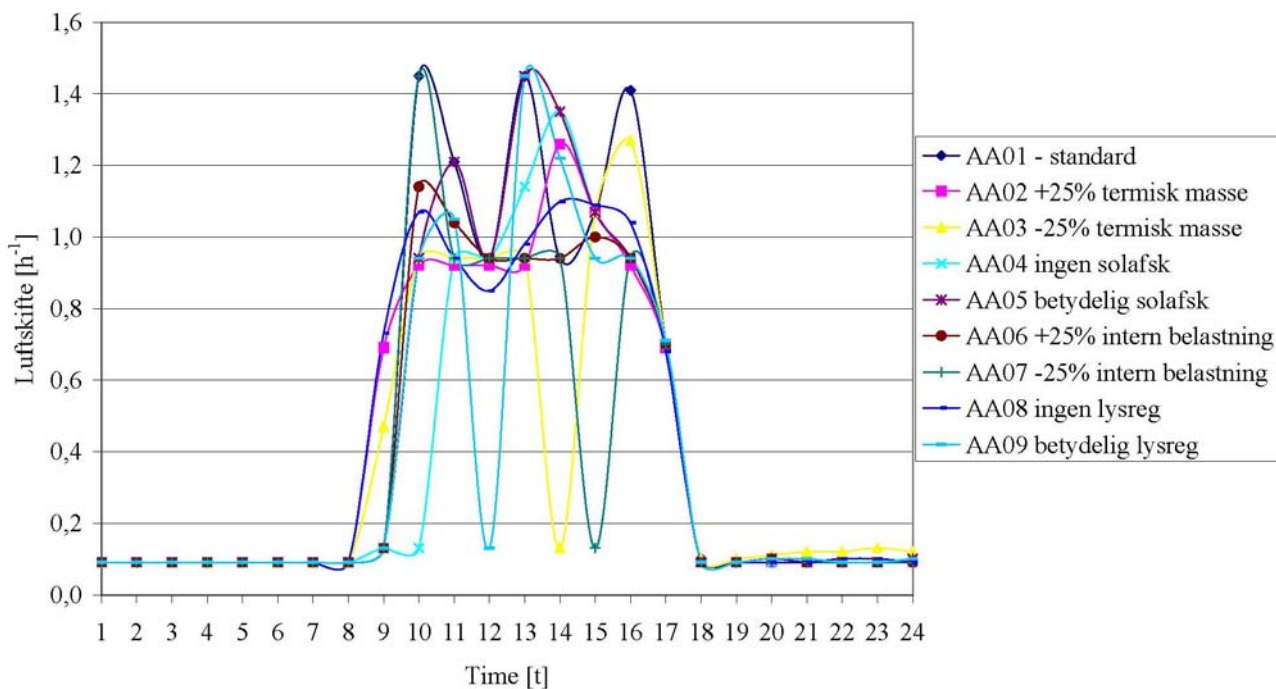
Histogrammet for luftskiftet ved forventningsklasse A om vinteren i afhængighed af parametervariation kan ses på Figur 7-29. Her kan samme tendens som for sommersituationen ses. Forskellen mellem sommer og vinter er, at hyppigheden af lave luftskifter er relativt højere om vinteren.



**Figur 7-29:** Histogram for luftskifte i forhold til parametervariation for forventningsklasse A om vinteren, ALFA-bygning.

Samme tendens kan observeres for forventningsklasse B og C dog med en højere hyppighed af lave værdier for luftskiftet, som det kan ses i bilag G. Dette skyldes en kombination af et svagere krav til det atmosfæriske og termiske indeklima.

Det tidsmæssige forløb af luftskiftet ved forventningsklasse A for den 29. november i afhængighed af parametervariation kan ses på Figur 7-30.

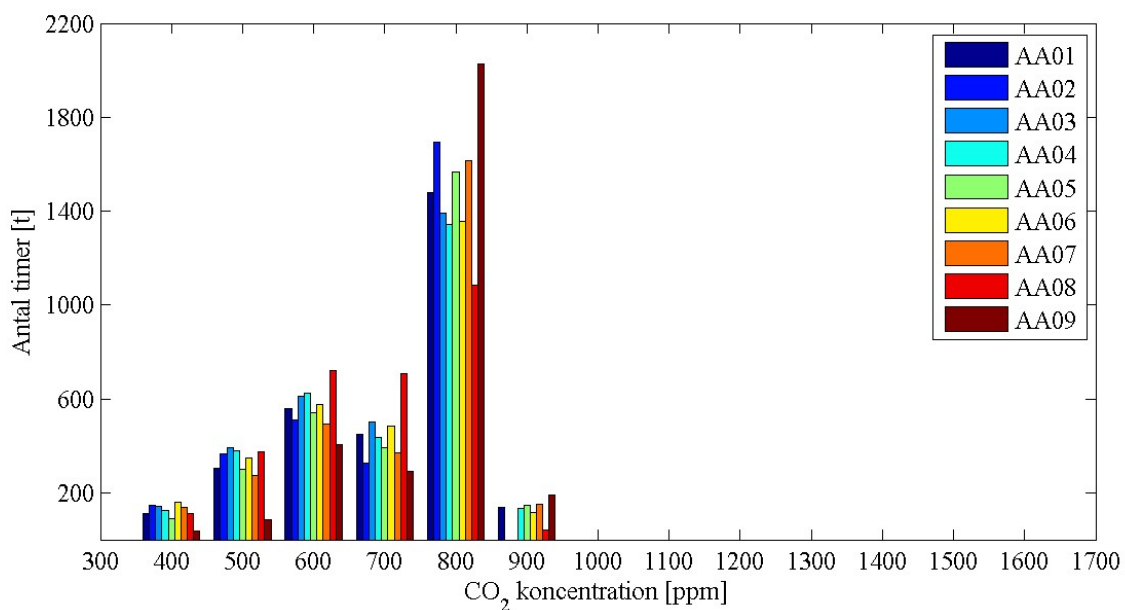


**Figur 7-30:** Udvikling af luftskiftet for forventningsklasse A den 29. november, ALFA-bygning.

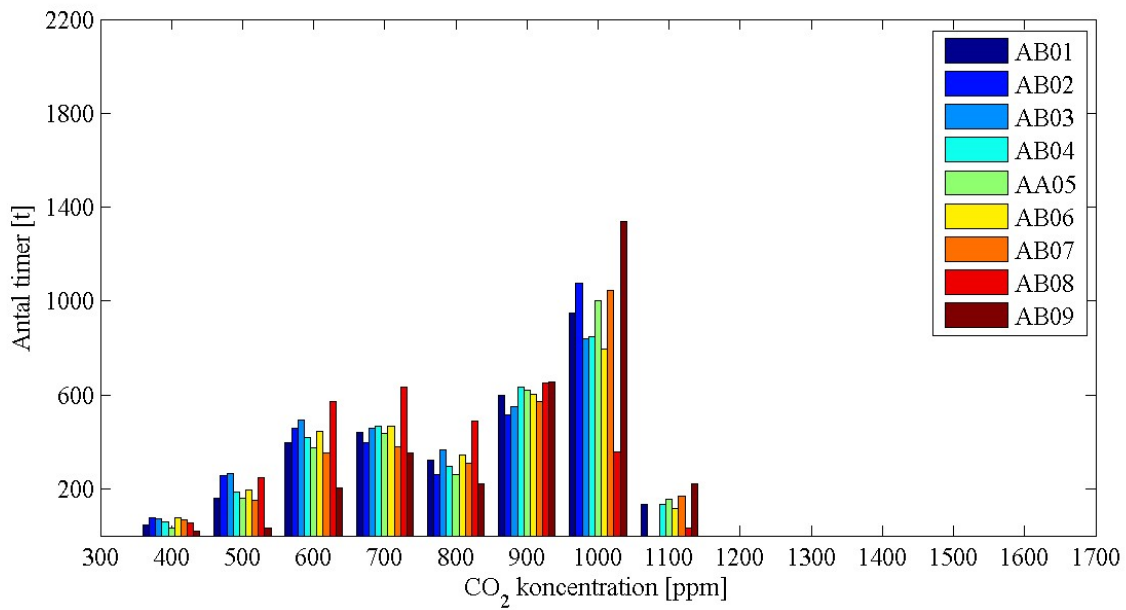
Modsat sommerperioden er luftskiftet præget af en mere fluktuerende tilstand for ALFA-bygningen, som det kan ses på Figur 7-30. Den fluktuerende opførsel af luftskiftet kan ikke direkte tilskrives, at den naturlige ventilation aktiveres for kompensere får for høj operativ temperatur jævnfør Figur 7-14, hvor det kan ses, at den øvre grænse for den operative temperatur ikke overskrides nævneværdigt. Hermed følger det, at udviklingen af luftskiftet for den 29. november må skyldes, at CO<sub>2</sub> koncentrationen aktiverer den naturlige ventilation, hvilket omtales i det følgende. Det kan dog også skyldes vindens naturlige fluktuation.

### 7.3.4 CO<sub>2</sub> koncentration – ALFA-bygning, vinter

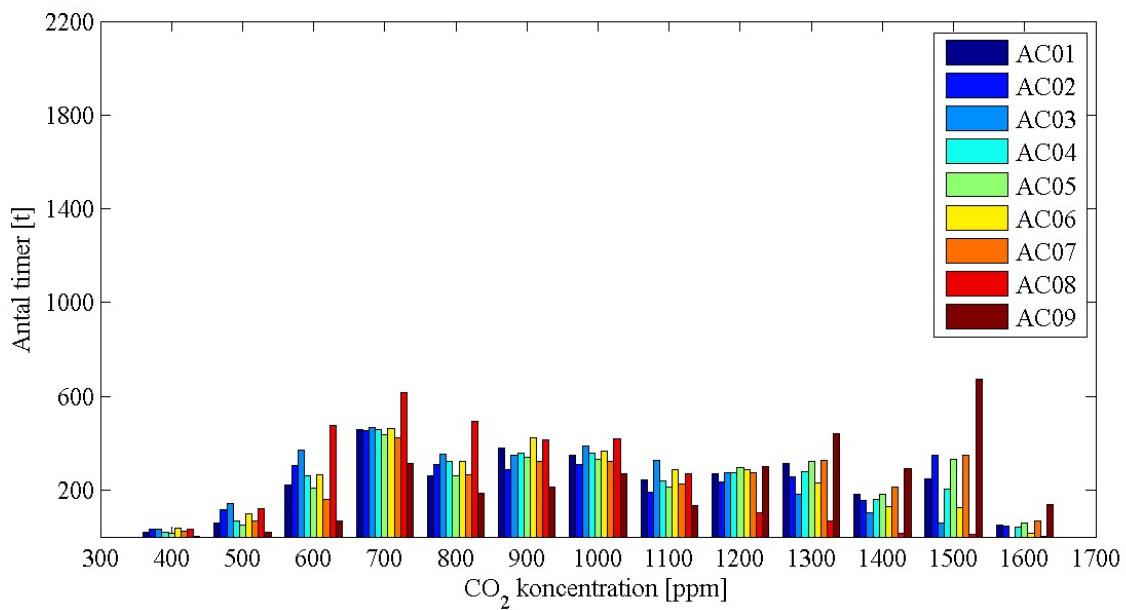
Histogrammer for CO<sub>2</sub> koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A, B og C kan ses på Figur 7-31, Figur 7-32 og Figur 7-33. På figurerne er hyppigheden af CO<sub>2</sub> koncentrationen i intervalspring af 100 ppm vist. I bilag G kan de tilsvarende varighedsdiagrammer for forventningsklasserne ses.



**Figur 7-31:** Histogram for CO<sub>2</sub> koncentration ved forventningsklasse A om vinteren, ALFA-bygning. Øvre grænse for CO<sub>2</sub> koncentration er 810 ppm jævnfør [CR 1752, 1998].

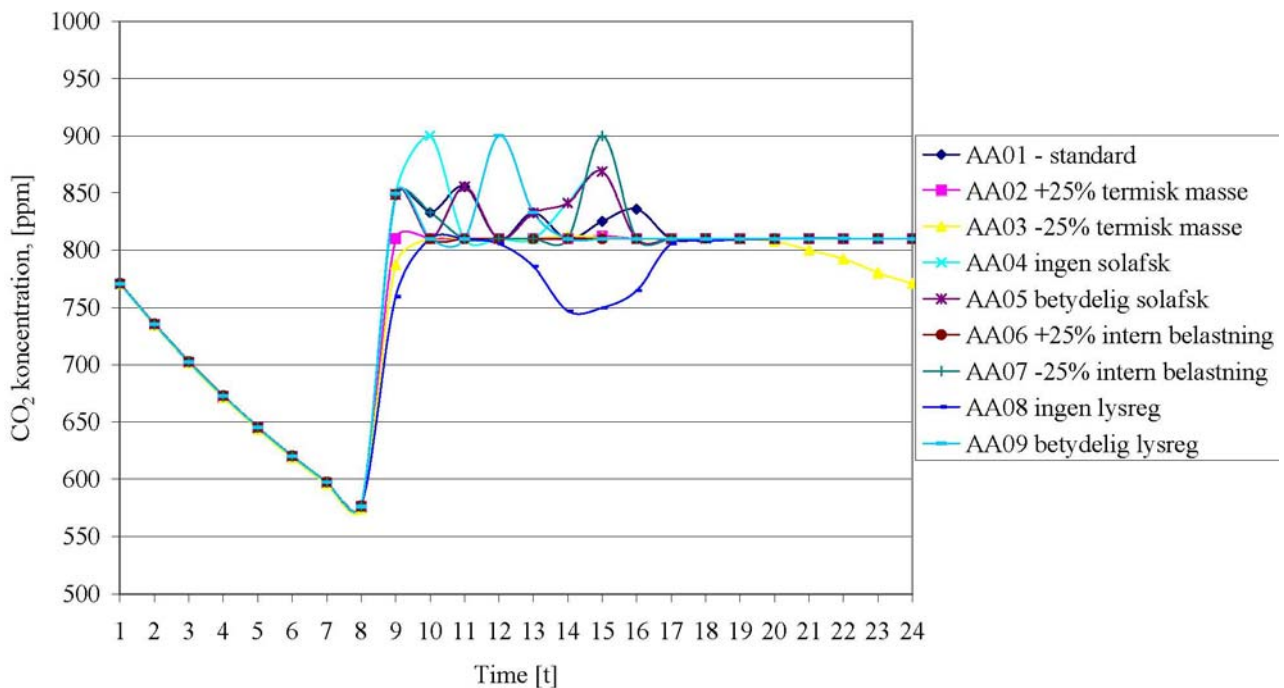


**Figur 7-32:** Histogram for CO<sub>2</sub> koncentration ved forventningsklasse B om vinteren, ALFA-bygning. Øvre grænse for CO<sub>2</sub> koncentration er 1010 ppm jævnfør [CR 1752, 1998].



**Figur 7-33:** Histogram for CO<sub>2</sub> koncentration for forventningsklasse C om vinteren, ALFA-bygning. Øvre grænse for CO<sub>2</sub> koncentration er 1540 ppm jævnfør [CR 1752, 1998].





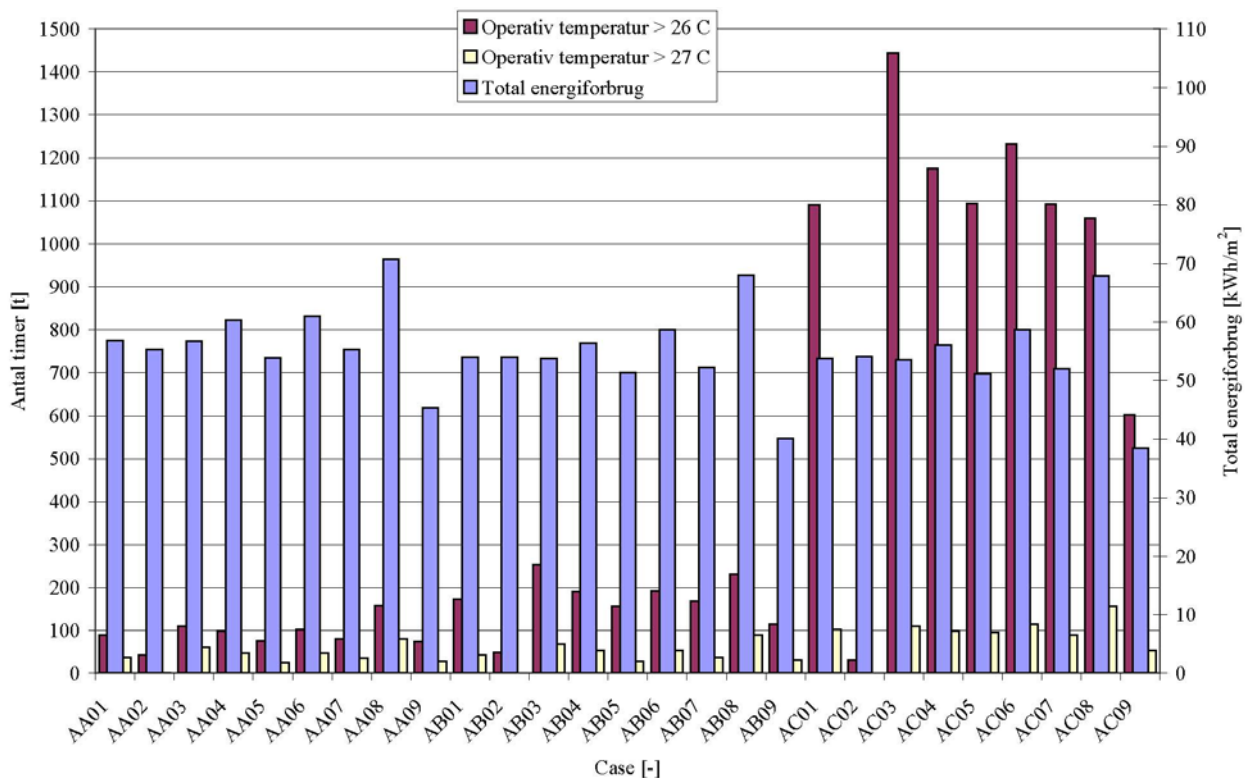
**Figur 7-34:** Udvikling af CO<sub>2</sub> koncentrationen for forventningsklasse A den 29. november, ALFA-bygning. Øvre grænse for CO<sub>2</sub> koncentration er 810 ppm jævnfør [CR 1752, 1998].

Ud fra Figur 7-34 kan det ses, at CO<sub>2</sub> koncentrationen i indeluften overskrider den øvre værdi på 810 ppm i løbet af dagen. Dette skyldes delvis, at den operative temperatur for hovedparten af casene ikke overskrider den øvre grænse som omtalt tidligere, hvilket også kan ses på Figur 7-14. Den operative temperatur for case AA02, AA03 og AA08 ligger tæt på den øvre grænse, hvilket aktiverer den naturlige ventilation med lavere CO<sub>2</sub> koncentration til følge (svarende til den øvre grænse) for det meste af arbejdsdagen. Om natten falder CO<sub>2</sub> koncentrationen pga. infiltration og/eller natkøling.

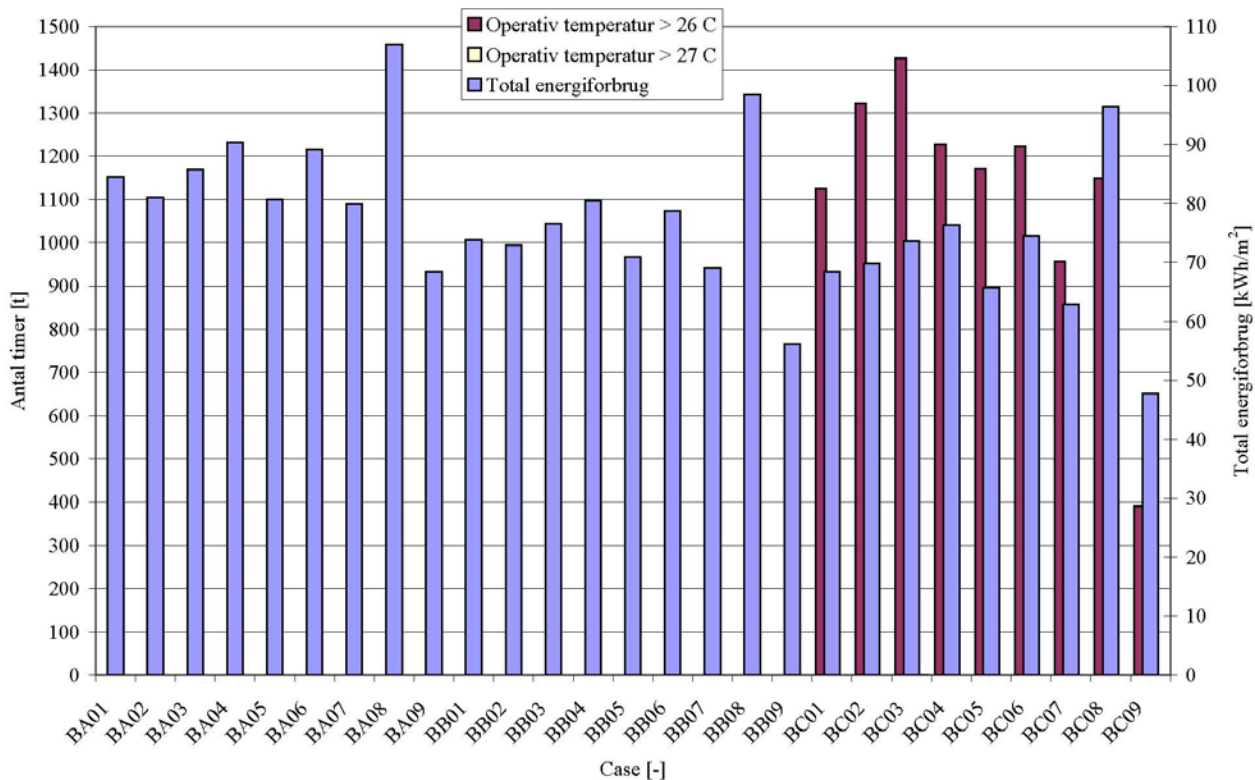
#### 7.4 Energiforbrug vs. komfortniveau

Ud fra simuleringerne kan det forventede energiforbrug i afhængighed af forventningsklasse og parametervariation opstilles grafisk i relation til hvor mange timer i brugstiden den operative temperatur er over henholdsvis 26 °C og 27 °C. Dette er opstillet for ALFA- og BETA-bygningen på henholdsvis Figur 7-35 og Figur 7-36. Her aflæses antal timer i brugstiden på venstre akse, mens det totale energiforbrug aflæses på højre akse.





**Figur 7-35:** Total energiforbrug i forhold til antal timer i % i brugstiden over de vejledende temperaturer 26 °C og 27 °C jævnfør [DS 474, 1994] for ALFA-bygningen.



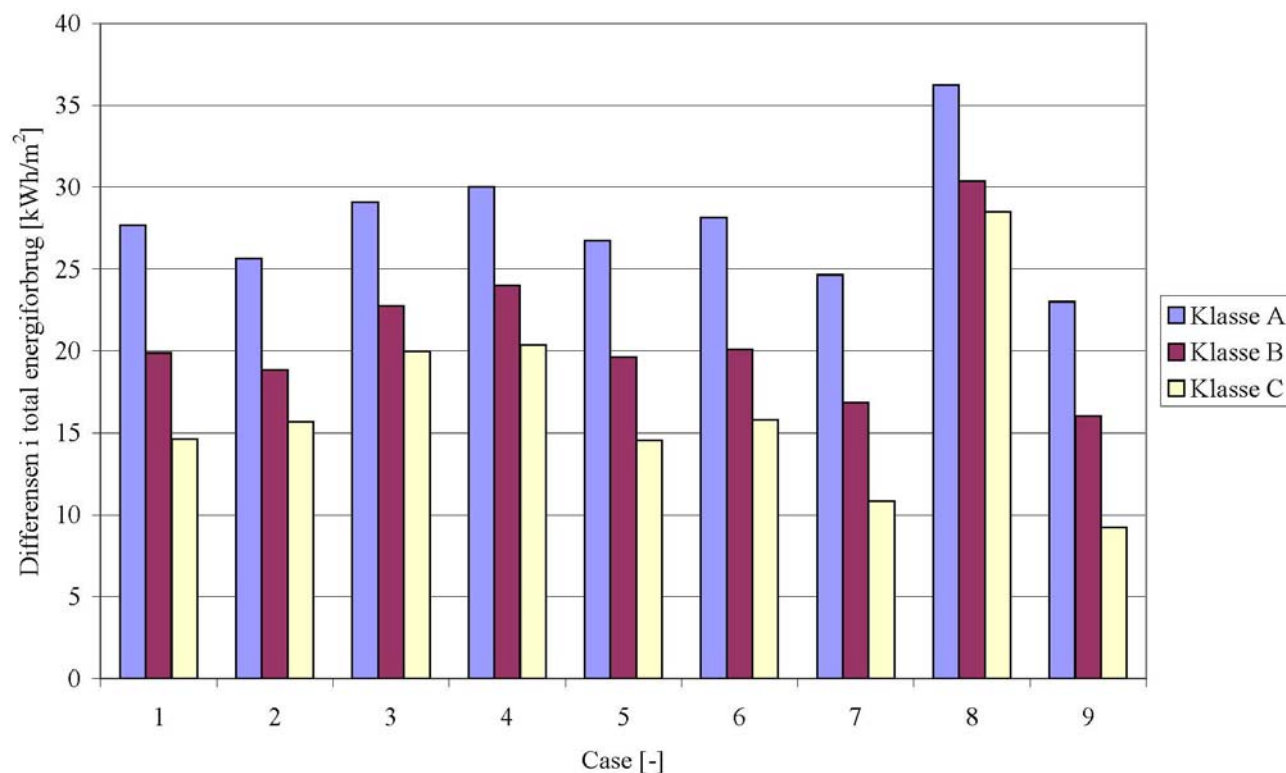
**Figur 7-36:** Total energiforbrug i forhold til antal timer i % i brugstiden over de vejledende temperaturer 26 °C og 27 °C jævnfør [DS 474, 1994] for BETA-bygningen.

## 8 Diskussion

Ud fra beregningen af bygningens forventede termiske og atmosfæriske indeklime samt det forventede energiforbrug i afhængighed af forventningsklasse og parametervariation, diskuteres resultaterne samlet i det følgende.

### 8.1 Energiforbrug

For at bedømme om det ud fra et økonomisk synspunkt kan betale sig at opføre bygninger klassificeret som værende ALFA, kan differensen mellem det forventede energiforbrug fra de simulerede BETA- og ALFA-bygninger opstilles som vist på Figur 8-1. En bygning opført i forventningsklasse A medfører en høj etablerings- samt driftsomkostning grundet de høje krav til det termiske og atmosfæriske indeklime, hvorimod en bygning opført i forventningsklasse C vil have en lavere driftsomkostning som følge af større tilladeligt interval for blandt andet den operative temperatur, men med betydelig større grad af diskomfort til følge. En bygning opført i forventningsklasse B medfører normalt et tilfredsstillende indeklime og et økonomisk acceptabelt projekt. Den efterfølgende diskussion af det forventede energiforbrug baseres derfor for det meste på forventningsklasse B.



**Figur 8-1:** Differensen i det totale energiforbrug mellem BETA- og ALFA-bygningen. Beregnet som BETA-ALFA (se også de absolutte værdier i bilag E).

Ud fra Figur 8-1 kan det ses, at besparelspotentialet er relativt stort ved at anvende bygningen, hvori Københavns Energi er lokaliseret, som en ALFA-bygning ved alle tre forventningsklasser. For forventningsklasse B ses det, at den største besparelse i energiforbruget er for casen, hvor der ikke anvendes lysregulering. Dette er dog stærkt misvisende, da besparingspotentialet indirekte dækker over en forøgelse af elforbrug til belysning i forhold til de andre cases, som det kan ses af det absolutte energiforbrug på Figur 7-1 og Figur 7-4 for henholdsvis ALFA- og BETA-bygningen. Energiforbruget til opvarmning falder som følge af

et større varmetilskud fra belysningen, når der ikke anvendes lysregulering, hvilket indikerer et større besparelsespotentiale. Men da elektricitet vægtes med en faktor 2,5 i energifregningen, vil det koste ejeren over det dobbelte at opvarme bygningen indirekte med el, hvorfor det må anbefales at anvende lysregulering.<sup>5</sup> Kølebehovet vil ligeledes stige for BETA-bygningen, når der ikke anvendes lysregulering, som det kan ses af Figur 7-6.

Hvis der ses bort fra casen, hvor der ikke anvendes lysregulering, vil besparelsespotentialet ved at opføre Københavns Energi som en ALFA-bygning kunne forventes at ligge i intervallet 23 - 30 kWh/m<sup>2</sup>, 16 - 24 kWh/m<sup>2</sup> og 9 - 20 kWh/m<sup>2</sup> om året for henholdsvis forventningsklasse A, B og C. Besparingspotentialet falder, når der skiftes fra forventningsklasse A til C, som det også kan ses ud fra Figur 8-1. Dette skyldes umiddelbart, at der stilles langt højere krav til den mekaniske ventilation og køling for BETA-bygningen ved klasse A, hvilket medfører et større energiforbrug i forhold til ALFA-bygningen.

For varmemeforbruget vil det være fordelagtigt at have en bygning med høj termisk masse for hermed at kunne lagre mere energi i løbet af dagen, som afgives som passiv varme udenfor bygningens brugstid. For en tung bygning reduceres kølebehovet ligeledes, hvor det for en let bygning øges. Dette skyldes som for varmebehovet, at der kan oplagres mere energi i en tung konstruktion, hvormed udsvinget af den operative temperatur reduceres.

Varmebehovet for henholdsvis ALFA- og BETA-bygningen stiger ved valg af effektiv lysstyring, da varmetilskuddet fra belysningen reduceres, som det ses ud fra Figur 7-3 og Figur 7-5, hvilket også var at forvente. Dette skal dog sammenholdes med, at energiforbruget til belysning vægtes med en faktor 2,5 i energifregningen, hvorfor det vil være mere økonomisk rentabelt totalt set at anvende lysstyring, selvom varmebehovet måske isoleret øges. Det forventede energiforbrug til belysning indikerer, at effektiv lysstyring er den vigtigste parameter for det samlede energiforbrug. For ALFA-bygningen udgør energiforbruget til belysning mellem 55 - 81 % af det totale energiforbrug, hvor det for BETA-koncepterne udgør mellem 37 - 65 % i afhængighed af parametervariation og forventningsklasse. Grunden til, at energiforbruget til belysning udgør en større procentdel for ALFA-bygningen, skyldes et lavere samlet energiforbrug sammenlignet med BETA-bygningen. Ved at vælge en glastype med højere lystransmittans tillades mere dagslys at passere gennem ruden, hvormed elforbruget til belysning reduceres, som det kan ses ud fra Figur 7-2. Her kan det ses, at for betydelig og ingen solafskærmning, hvor henholdsvis en høj og lav værdi for rudens lystransmittans er anvendt, falder det forventede energiforbrug til belysningen ved valg af en rude, som tillader høj lysgennemgang.

Ved anvendelse af effektiv solafskærmning minimeres soltilskuddet gennem vinduerne til rummet, hvormed kølebehovet reduceres. Den største reduktion af kølebehovet opnås ved at anvende ekstern solafskærmning, hvilket også var at forvente. Solafskærmningen har modsat effekt på varmebehovet, hvilket stiger i takt med at effektiviteten af solafskærmningen øges, som det kan ses ud fra Figur 7-3 og Figur 7-5 for henholdsvis ALFA- og BETA-bygningen.

---

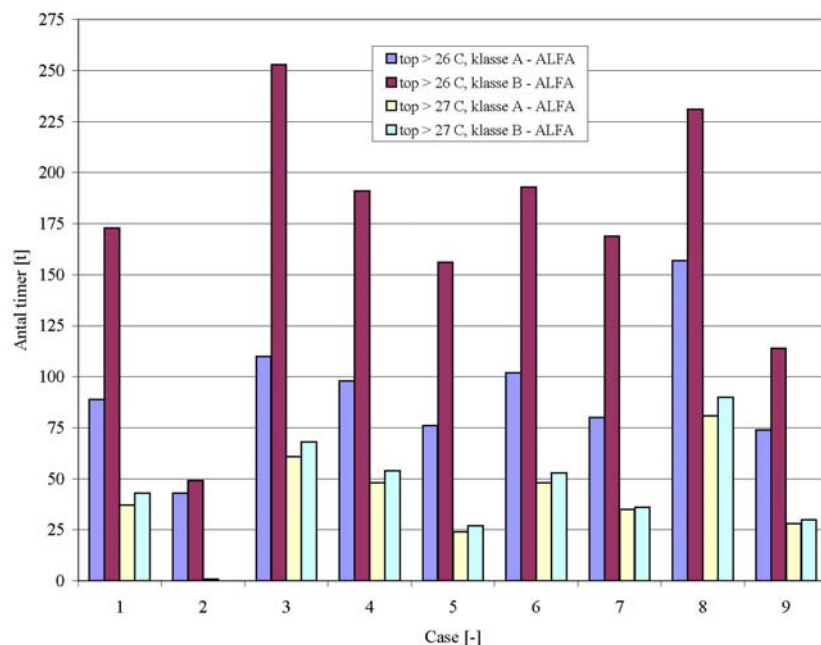
<sup>5</sup> Det bemærkes, at elforbruget i rapporten ikke er multipliceret med faktoren 2,5. Ligeledes er der heller ikke taget hensyn til COP-værdien ved bestemmelse af det forventede energiforbrug til mekanisk køling. Ved et køleanlæg med eksempelvis en COP-værdi på 3 bruges der 1 kWh elektrisk energi til at fjerne en varmemængde på 3 kWh. I praksis skulle disse forhold - sammen med anlægsinvesteringerne - naturligvis tages i regning for at vurdere den samlede økonomiske rentabilitet.

Det vil ligeledes have en positiv indvirkning på kølebehovet at overveje energieffektivt udstyr, da dette minimerer det interne varmetilskud. Dette vil dog have modsat effekt på varmebehovet, som tilsvarende stiger ved et valg af effektivt udstyr.

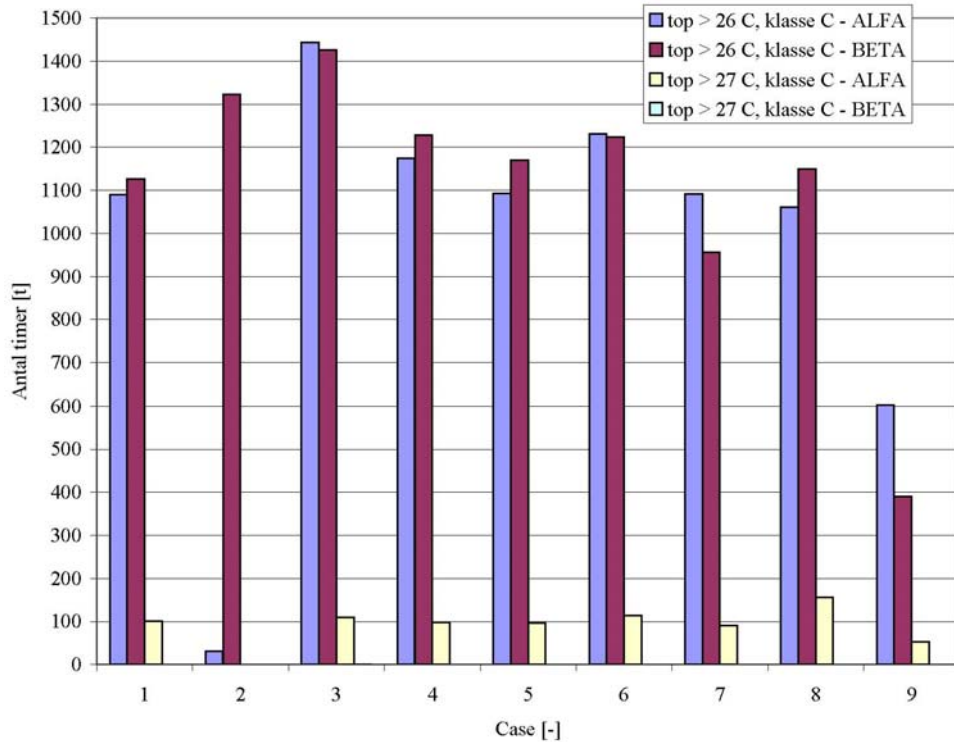
Effekten af at undlade lysregulering i forhold til kontinuert lysregulering er forventelig. Resultaterne er dog blevet forstærket, da der ved opsætning af modellerne er anvendt en varmeafgivelse på  $15 \text{ W/m}^2$ ,  $10 \text{ W/m}^2$  og  $7,5 \text{ W/m}^2$  for henholdsvis ingen, moderat og betydelig lysregulering. Det svarer til, at der forventes anvendt mere effektive lyskilder ved den bevidste lysstyring. Glassets egenskaber er ligeledes justeret i afhængighed af solafskærmningens effektivitet ud fra et praktisk synspunkt. Det er sket ved at anvende en glastype med høj lystransmittans samt  $g$ -værdi, når der benyttes betydelig solafskærmning for at få tilstrækkelig med dagslys og varmetilskud til rummet. Det skal i den forbindelse nævnes, at den permanente solafskærmning monteret omkring vinduerne, som det kan ses på Figur 2-2, afskærmer effektivt for solen, da bygningen er roteret mod syd under simuleringerne. Heraf følger det, at det vil være svært at generalisere i forhold til solafskærmningens effektivitet ved den aktuelle parametervariation.

## 8.2 Termisk indeklima

I [DS 474, 1994] er det angivet, at antallet af timer over  $26 \text{ }^\circ\text{C}$  og  $27 \text{ }^\circ\text{C}$  ikke bør overskride henholdsvis 100 timer og 25 timer for et typisk år. Antallet af timer, hvor den operative temperatur,  $t_{op}$ , er højere end  $26 \text{ }^\circ\text{C}$  og  $27 \text{ }^\circ\text{C}$  i afhængighed af parametervariation for ALFA-bygningen forventningsklasse A og B er opsummeret på Figur 8-2. BETA-bygningen er ikke medtaget på figuren, da den operative temperatur for forventningsklasse A og B ikke overskrider  $26 \text{ }^\circ\text{C}$  og  $27 \text{ }^\circ\text{C}$ . Dette skyldes, at setpunktet for køling om sommeren/vinteren er henholdsvis  $25,5 \text{ }^\circ\text{C} / 23 \text{ }^\circ\text{C}$  og  $26 \text{ }^\circ\text{C} / 24 \text{ }^\circ\text{C}$  for forventningsklasse A og B. På Figur 8-3 er antallet af timer, hvor den operative temperatur antager en større værdi end  $26 \text{ }^\circ\text{C}$  og  $27 \text{ }^\circ\text{C}$  for forventningsklasse C for henholdsvis ALFA- og BETA-bygningen opsummeret.



**Figur 8-2:** Antal timer hvor den operative temperatur,  $t_{op}$ , overskrider henholdsvis  $26 \text{ }^\circ\text{C}$  og  $27 \text{ }^\circ\text{C}$  i forhold til parametervariation ved forventningsklasse A og B for ALFA-bygning.



**Figur 8-3:** Antal timer hvor den operative temperatur,  $t_{op}$ , overskrider henholdsvis 26 °C og 27 °C i forhold til parametervariation ved forventningsklasse C for ALFA- og BETA-bygning.

Udsvinget af den operative temperatur reduceres for både ALFA- og BETA-bygningen, når den termiske masse af bygningen øges. Det kan ligeledes ses ud fra Figur 8-2 og Figur 8-3, at antallet af timer, hvor den operative temperatur overskrider henholdsvis 26 °C og 27 °C, reduceres for en tung bygning. Dette er også at forvente, da en tung bygning har en højere varmekapacitet, hvormed mere energi kan oplagres i konstruktionen.

Anvendelse af solafskærmning medfører en lavere operativ temperatur i løbet af dagen, da mindre solenergi tilføres rummet. Graden af solafskærmning har ligeledes direkte indflydelse på antallet af timer, hvor den operative temperatur overskrider henholdsvis 26 °C og 27 °C, som det kan ses ud fra Figur 8-2 og Figur 8-3. For ALFA-bygningen stiger antallet af timer over 26 °C og 27 °C for ingen og betydelig solafskærmning i forhold til udgangscasen indekseret med 1. Dette skyldes, at der for betydelig solafskærmning er anvendt en glastype med højere  $g$ -værdi, hvilket medfører et større varmetilskud fra solen. For ingen solafskærmning er det forventeligt, at mere energi tilføres rummet med højere operativ temperatur til følge. Undersøgelse vedrørende solafskærmning viser dog, at antallet af timer, hvor den operative temperatur overskrider henholdsvis 26 °C og 27 °C, reduceres ved anvendelse af solafskærmning, samt at rudens  $g$ -værdi har stor betydning.

Ved en forøgelse af den interne belastning dækkende elektronisk udstyr såsom computer, pc-skærm, etc. (eksklusiv personer), antager den operative temperatur en højere værdi. Dette er forventeligt, da en større intern belastning medfører et større varmetilskud.

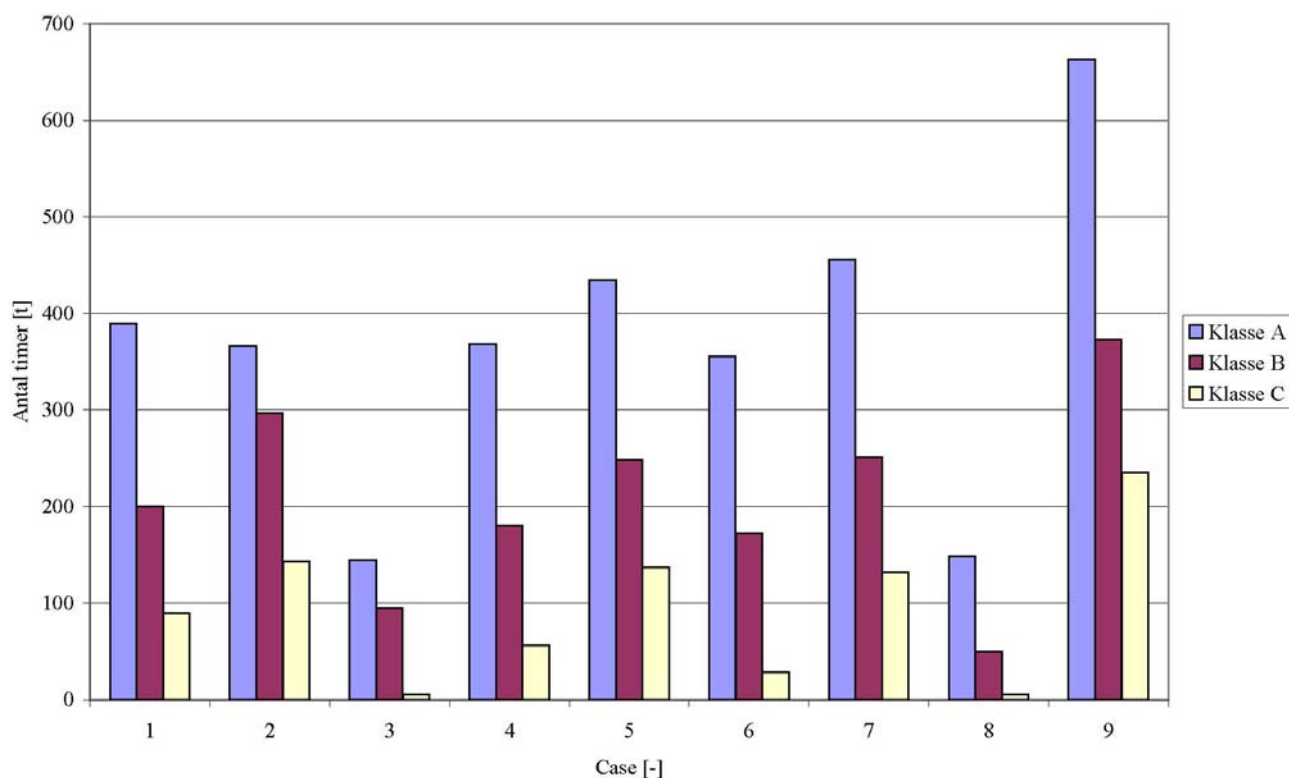
Uden lysregulering øges hyppigheden af antal af timer, hvor den operative temperatur overskrider 26 °C og 27 °C for alle tre forventningsklasser med forringet termisk komfort til følge. Jo mere effektiv lysreguleringen er, jo mere falder det interne varmetilskud fra belysningen. Heraf følger det også at antallet af timer,

hvor den operative temperatur overskrider henholdsvis 26 °C og 27 °C, reduceres kraftigt i forhold til manglende lysregulering, som det kan ses på Figur 8-2 og Figur 8-3.

Den operative temperatur for ALFA-bygningen ved forventningsklasse A kan holdes indenfor det tilladelige interval i rimelig grad. Ved en "tuning" hvor en kombination af effektiv bygningsstyring og en høj bygningstype indføres, vil det yderligere forbedre tilstanden. Grunden til at antallet af timer, hvor den operative temperatur overskrider 26 °C ved klasse C, er relativt stort, skyldes ganske enkelt, at setpunktet for køling om sommeren er 27 °C. Det er dermed forventeligt, at den termiske komfort vil være utilfredsstillende for forventningsklasse C. Det skal bemærkes, at ariet i praksis vil kunne have en hvis buffereffekt både med hensyn til køling og opvarmning, hvilket der ikke er taget højde for i simuleringerne.

### 8.3 Atmosfærisk indeklima

Den øvre grænse for CO<sub>2</sub> koncentrationen i indeluften er for forventningsklasse A, B og C henholdsvis 810 ppm, 1010 ppm og 1540 ppm jævnfør [CR 1752, 1998] ved en CO<sub>2</sub> koncentration i udeluften på 350 ppm. Figur 8-4 viser antallet af timer for ALFA-bygningen, hvor CO<sub>2</sub> koncentrationen er over den øvre grænse for henholdsvis forventningsklasse A, B og C. På figuren er der ikke taget hensyn til, hvor meget den øvre grænse for CO<sub>2</sub> koncentrationen overskrides for henholdsvis forventningsklasse A, B og C. For et mere detaljeret indblik i fordelingen af CO<sub>2</sub> koncentrationen i afhængighed af forventningsklasse, parametervariation samt ALFA- eller BETA-bygning henvises til bilag G, hvor yderlige resultater vedrørende det atmosfæriske indeklima kan findes.



**Figur 8-4:** Antal timer hvor CO<sub>2</sub> koncentrationen i indeluften i afhængighed af parametervariation overskrider den øvre værdi på henholdsvis 810 ppm, 1010 ppm og 1540 ppm for ALFA-bygningen ved forventningsklasse A, B og C.

Størrelsen af det nødvendige luftskifte er direkte proportionalt med antallet af personer i det betragtede kontorudsnit i afhængighed af aktivitetsniveauet (idet der tilnærmet er set bort fra betydningen af bygningens

egen forureningsemission). Det nødvendige luftskifte er altid til stede for BETA-bygningen, da den er mekanisk ventileret, hvorimod vejrets variationer vil få en indflydelse på, om det nødvendige luftskifte vil være til stede for ALFA-bygningen. Det er kort sagt afhængigt af en kombination af bygningens styring og kapaciteten af den naturlige ventilation.

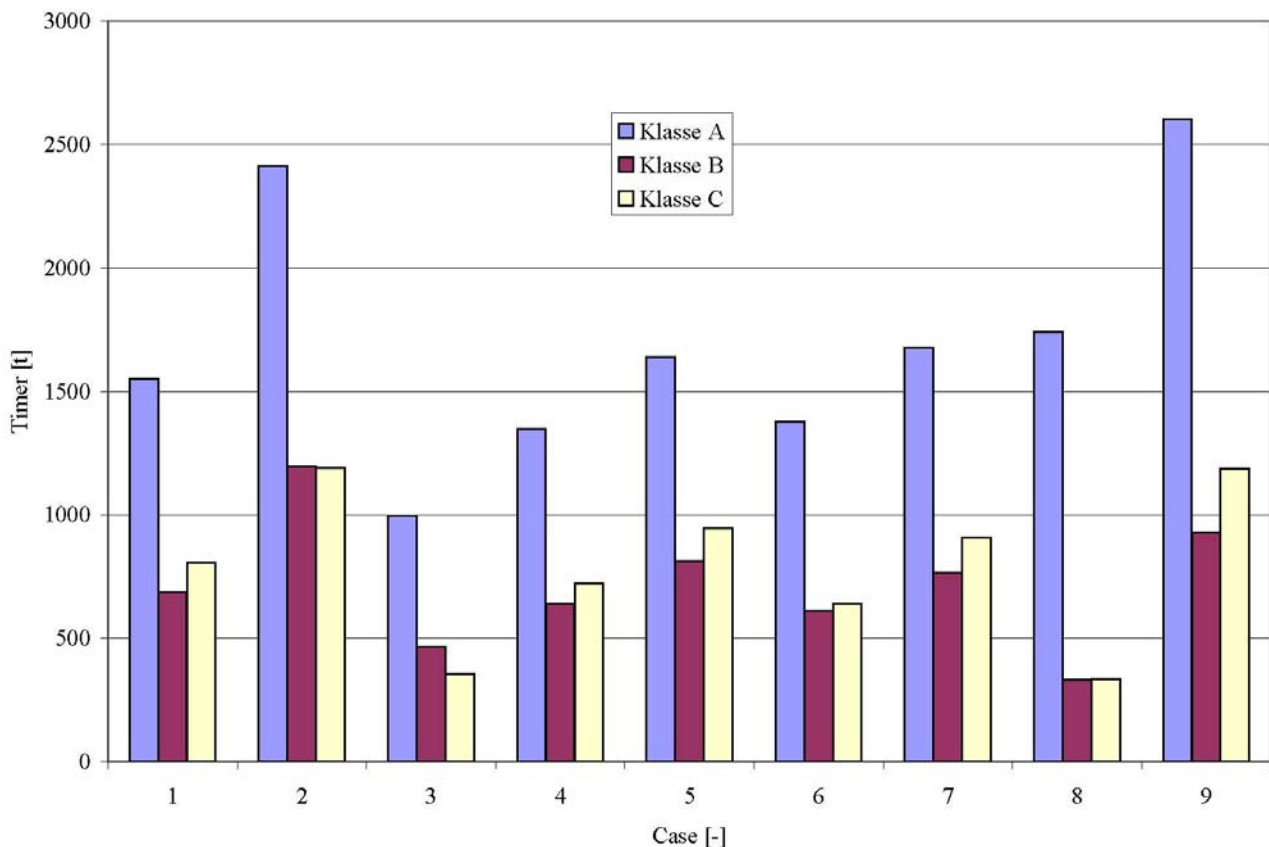
Den forventede CO<sub>2</sub> koncentration i indeluften er lavest, når den termiske masse reduceres. Dette skyldes, at den operative temperatur antager en højere værdi for en let bygning, da der ikke kan oplagres den samme mængde energi som for en tung bygning. Hermed indtræffer behovet for udluftning som følge af høj operativ temperatur og ikke pga. for høj CO<sub>2</sub> koncentration i indeluften. Da temperaturforskellen mellem inde- og udeluften er størst for varmesæsonen, holdes den operative temperatur lettere inden for den nedre og øvre grænse her, hvorved det typisk bliver CO<sub>2</sub> koncentrationen i indeluften, som er bestemmende for udluftningsbehovet. For varmesæsonen opnås da også tilnærmelsesvis samme atmosfæriske indeklima med en reducere eller forøgelse af den termiske masse.

Solafskærmningens indflydelse på CO<sub>2</sub> koncentrationen i rummet for sommerperioden afhænger af den operative temperatur. Når der anvendes betydelig solafskærmning, reduceres varmetilskuddet, hvorved den operative temperatur reduceres. Dette medfører, at udluftningsbehovet er større, når der ingen solafskærmning er om sommeren, hvilket kan ses ud fra størrelsen af luftskiftet på Figur 7-23, hvor luftskiftet i forhold til parametervariation for ALFA-bygningen ved forventningsklasse A for en typisk sommerdag kan ses. Da der opnås tilnærmelsesvis identisk temperaturprofil for den operative temperatur for varmesæsonen for henholdsvis ingen og betydelig solafskærmning, styres udluftningsbehovet efter CO<sub>2</sub> koncentrationen i indeluften.

Tilnærmelsesvis samme tendens identificeres for variationen af den interne belastning og graden af lysstyring. CO<sub>2</sub> koncentrationen falder, når den interne belastning øges, eller der ikke anvendes lysregulering for sommerperioden.

For ALFA-bygningen vil luftskiftet endvidere afhænge af de termiske drivkræfter givet ved vindhastigheden (i praksis både retning og fart) og temperaturforskellen mellem inde- og udeluften.

For at belyse om det nødvendige luftskifte er til rådighed i brugstiden, kan Figur 8-5 betragtes. Til udarbejdelse af figuren er antallet af timer i tidsintervallet kl. 8 – 17, hvor luftskiftet er under 0,94 h<sup>-1</sup>, 0,65 h<sup>-1</sup> og 0,36 h<sup>-1</sup> for henholdsvis forventningsklasse A, B og C, bestemt i bilag C. For weekendarbejde samt overarbejdstimerne reduceres det nødvendige luftskifte med 90 %, da det kun antages 10 % er på arbejde. Det totale antal af brugstimer er 4644 timer.



**Figur 8-5:** Antal timer i brugstiden hvor det nødvendige luftskifte ikke er til stede i ALFA-bygningen.

For at minimere antallet af timer hvor det nødvendige luftskifte ikke er til stede, kan det overvejes at øge åbningsarealet i taget for at øge det termiske drivtryk. En anden mulighed kunne være at overveje hybrid ventilation, hvor en ventilator monteres i toppen af atriet, som automatisk aktiveres, når de naturlige drivtryk ikke er tilstrækkelige til at give det ønskede luftskifte.

Når udelufttemperaturen antager samme værdi som indelufttemperaturen, og der er tilnærmelsesvis vindstille, indtræffer en stagnation af luften. Det vil dog kun sjældent optræde, da der sjældent er vindstille i Danmark. Anvendelse af hybrid ventilation (her i form af hjælpeventilatorer) vil reducere sandsynligheden for, at denne tilstand opstår.

Da BETA-bygningen er mekanisk ventileret, hvor det nødvendige luftskifte er bestemt ud den øvre grænse for CO<sub>2</sub> koncentration i indeluften, vil det forventede atmosfæriske indeklima altid være som forudsat her.

For alle simuleringerne gælder det, at der ikke er taget hensyn til buffereffekten som atriet bidrager med, hvilket forventes at virke til gunst for det atmosfæriske indeklima primært for de nederste etager.

## 8.4 Energiforbrug vs. komfortniveau

Omkostningerne til indeklimaet forventes at følge valget af forventningsklasse. Det skyldes det tilladelige udsving af den operative temperatur for varmesæsonen og sommerperioden jævnfør Tabel 4-1 og kravet til det atmosfæriske indeklima jævnfør Tabel 4-2.

Besparingspotentialer ved at gå fra en BETA-bygning til en ALFA-bygning for nærværende case ligger i intervallet 23 - 30 kWh/m<sup>2</sup>, 16 - 24 kWh/m<sup>2</sup> og 9 - 20 kWh/m<sup>2</sup> om året for henholdsvis forventningsklasse A,



B og C, hvorved den opstillede hypotese om et besparelspotentiale på omtrent 15 kWh/m<sup>2</sup> virker sandsynlig. Det store besparelspotentiale ved forventningsklasse A skyldes et temmelig begrænset variationsområde for den operative temperatur, som vil kræve øget brug af mekanisk ventilation og køling i BETA-bygningen. Hvis variationsområdet for den operative temperatur forøges på grund af lavere forventningsklasse, reduceres den forventede besparelse på det totale energiforbrug tilsvarende. Selvom besparelspotentialet er relativt stort, stiger det totale energiforbrug også, jo højere forventningsklasse der vælges (med bedre komfort til følge). Derfor skal man også altid se på det *absolutte* energiforbrug.

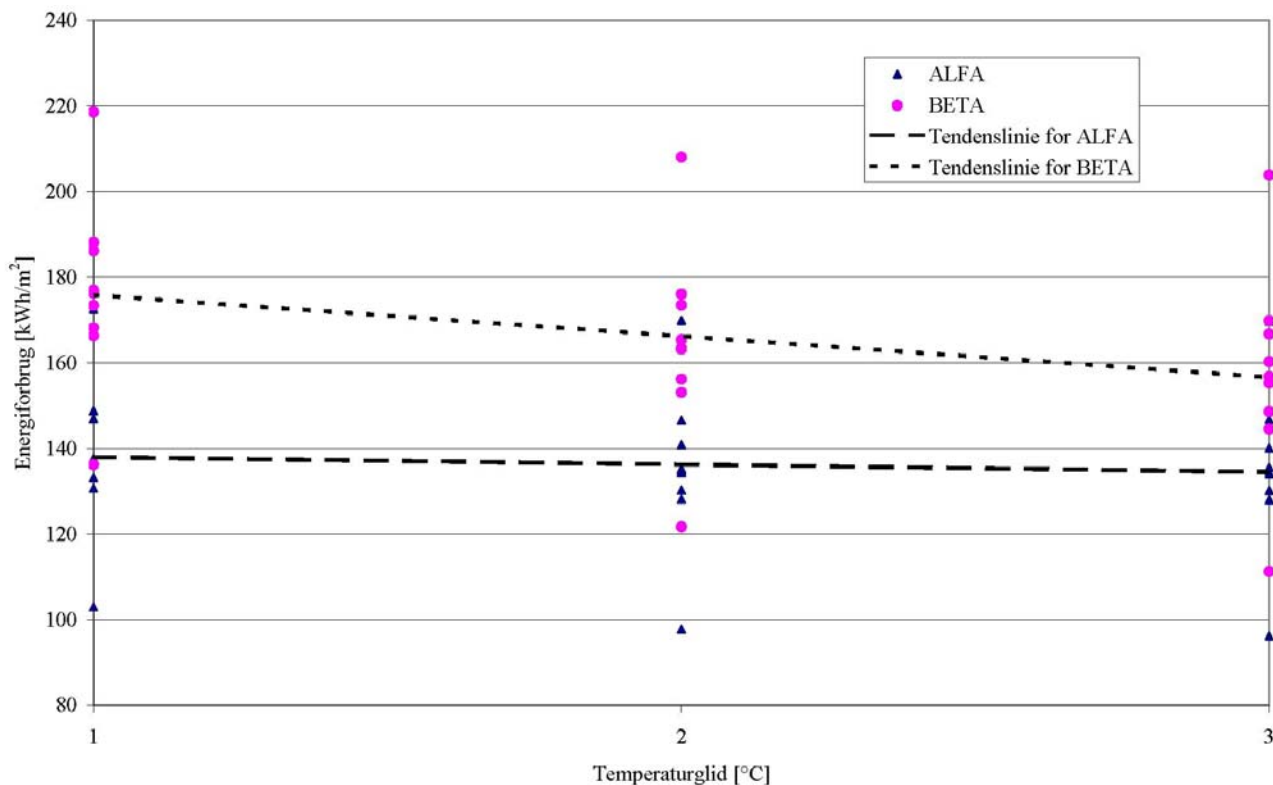
Ved sammenligning af bygningstype skal energiforbruget også holdes op mod komforten her repræsenteret ved antallet af timer, hvor den operative temperatur overskrider henholdsvis 26 °C og 27 °C. Som det kan ses ud fra Figur 7-35, falder det totale energiforbrug for ALFA-bygningen i afhængighed af forventningsklasse, hvilket skyldes opvarmningssetpunktet for varmesæsonen. Endvidere kan det ses, at antallet af timer, hvor den operative temperatur overskrider henholdsvis 26 °C og 27 °C, stiger jo lavere forventningsklasse, der vælges. For ALFA-bygningen er det kun forventningsklasse A, som kan opfylde kravet om 100 timer og 25 timer under henholdsvis 26 °C og 27 °C. For forventningsklasse B er det kun casene, hvor den termiske masse øges, der opfylder det vejledende krav.

For BETA-bygningen opfyldes det vejledende krav om timerne over henholdsvis 26 °C og 27 °C på nær for forventningsklasse C, hvilket som tidligere nævnt også er forventeligt. Da BETA-bygningen er mekanisk konditioneret holdes den operative temperatur inden for det ønskede interval. Dette medfører sammenlignet med ALFA-bygningen et relativt større energiforbrug, hvilket kan tilskrives ventilatordrift og mekanisk køling. Omkostningen for BETA-bygningen i afhængighed af forventningsklasse, parametervariation og antallet af timer over henholdsvis 26 °C og 27 °C kan ses på Figur 7-36.

## 8.5 Energiforbrug vs. temperaturglid

Figur 8-6 viser det såkaldte temperaturglid, svarende til det foreskrevne (men ikke nødvendigvis opnåede) interval for variation af den operative temperatur, som funktion af energiforbruget for henholdsvis ALFA- og BETA-bygningen.

Af Figur 8-6 ses det, at temperaturglidet har mindre betydning for ALFA-bygningens energiforbrug end for BETA-bygningens energiforbrug. Forklaringen på det er, at der for BETA-bygningen altid opnås det ønskede interval for den operative temperatur, eventuelt med et større køleforbrug til følge, i forhold til ALFA-bygningen. Der er således energi og økonomi at spare ved accept af større temperaturglid ved BETA-bygningen. Selvom tendenslinjen for ALFA-bygningen er næsten vandret, dækker den over væsentlige forskelle i indeklimaet. I alle tilfælde gælder det, at jo mindre temperaturglid, jo bedre indeklima (termisk komfort).



Figur 8-6: profil for temperaturglid vs. energiforbrug for KE ejendommen..

### 8.6 Lokal følsomhedsanalyse

Til vurdering af hvilke parametre der har størst betydning for bygnings ydeevne med hensyn til indeklimaet og energiforbruget, benyttes en lokal følsomhedsanalyse. Til vurderingen er følgende udtryk anvendt til at beskrive parameterens følsomhed:

$$\frac{\phi_{\max} - \phi_{\min}}{\phi_{std}}$$

hvor

$\phi_{\max}$  maksimal værdi af henholdsvis energiforbrug og komfort i afhængighed af den faktor, hvis følsomhed undersøges

$\phi_{\min}$  mindste værdi af henholdsvis energiforbrug og komfort i afhængighed af den faktor, hvis følsomhed undersøges

$\phi_{std}$  energiforbrug for standardcase

Med standardcase menes der simuleringerne med indeksnummer 01 i Tabel 5-4. Ud fra ovenstående udtryk er parametrenes indflydelse bestemt med hensyn til henholdsvis energiforbruget til opvarmning for ALFA- og BETA-bygningen, køling for BETA-bygningen samt energiforbruget til belysning.

I Tabel 8-1 er følsomheden af energiforbruget til opvarmning i afhængighed af parametervariation samt om bygningen er en ALFA- eller BETA-bygning opsummeret. For forventningsklasse C er der intet varmebe-

hov, da det interne varmetilskud er tilstrækkeligt, hvorfor der ingen lokal følsomhedsanalyse er medtaget i Tabel 8-1 for denne forventningsklasse.

	ALFA-bygning		BETA-bygning	
	Klasse A	Klasse B	Klasse A	Klasse B
Bygningsmasse	0,57	0,87	0,39	0,68
Solafskærmning	0,04	0,09	0,05	0,14
Intern belastning	0,27	0,77	0,27	0,73
Lysregulering	1,39	8,00	1,11	4,10

**Tabel 8-1:** Lokal følsomhed af energiforbruget til opvarmning.

Den lokale følsomhedsanalyse for energiforbruget til opvarmning indikerer, at lysregulering har størst indflydelse efterfulgt af bygningsmasse, intern belastning og solafskærmning. Det er dog forventeligt at lysreguleringen samt den interne belastning vil have en relativ høj indflydelse på energiforbruget til opvarmning, idet en ringe regulering af lyset vil medføre et stort varmetilskud med lille varmebehov til følge, hvor det modsatte kan forventes at indtræffe for effektiv lysstyring. Det reducerede varmebehov, når der ikke anvendes lysregulering, skal dog holdes op mod, at elforbruget vægtes med en faktor 2,5 i energifregning, hvorfor det ikke vil være fordelagtigt at undlade lysregulering for at minimere varmebehovet. En lignende tendens vil gælde for den interne belastning. Endvidere kan det ses, at graden af solafskærmning ikke vil have den store indflydelse på energiforbruget til opvarmning.

Af Tabel 8-1 fremgår det endvidere, at det ikke vil have den store betydning for varmebehovet, om der anvendes solafskærmning eller ej. Dette skyldes dog i stor udstrækning valget af glassets egenskaber, som ændres i afhængighed af solafskærmningsgraden, som det ses af Tabel 5-2. Heraf fremgår det, at glassets lystransmittans og *g*-værdi er sat til henholdsvis en lav værdi, når der ikke anvendes solafskærmning, og en høj værdi, når betydelig solafskærmning anvendes. En fastholdelse af glassets egenskaber ville sandsynligvis have givet et "klarere" (men måske mere urealistisk) billede af varmebehovets følsomhed overfor en ændring af solafskærmningens effektivitet. Der vil desuden optræde en betydelig case specifik afhængighed af den faste solafskærmning omkring vinduerne kombineret med orienteringen mod syd (se Figur 2-2 og Figur 6-3).

Den relativt store lokale følsomhed, varmebehovet antager overfor en ændring af lysreguleringens effektivitet, skyldes til dels valget af forskellige lyskilder (og dermed afgiven effekt til rummet) ved henholdsvis ingen, moderat og betydelig lysregulering. Igen ville en fastholdelse af denne størrelse have givet en "klarere" sammenhæng, men måske ikke så realistisk.

I Tabel 8-2 er følsomheden af energiforbruget til køling for BETA-bygningen i afhængighed af parametervariation samt forventningsklasse listet.

	BETA-bygning		
	Klasse A	Klasse B	Klasse C
Bygningsmasse	0,19	0,31	0,37
Solafskærmning	0,14	0,19	0,34
Intern belastning	0,22	0,23	0,42
Lysregulering	0,91	1,21	1,86

**Tabel 8-2:** Lokal følsomhed af energiforbruget til køling for BETA-bygningen.

Den lokale følsomhedsanalyse indikerer, at en effektiv styring af belysning vil virke mest til gunst for kølebehovet efterfulgt af en minimering af den interne belastning (klasse A). Det fremgår også, at energiforbru-

get til køling har en relativ høj følsomhed over for en ændring af bygningsmassen (især klasse B) samt solafskærmningens effektivitet.

Følsomheden af energiforbruget til belysning er ligeledes undersøgt og resultatet heraf er opsummeret i Tabel 8-3. I nærværende setup er det ens for ALFA- og BETA-bygningen samt uafhængig af forventningsklassen.

Solafskærmning	0,17
Lysregulering	0,71

**Tabel 8-3:** Lokal følsomhed af energiforbruget til belysning.

Ud fra Tabel 8-3 fremgår det, at lysregulering vil have den største indflydelse på energiforbruget til belysningen for den aktuelle case. I afhængighed af solafskærmningens effektivitet vil mængden af dagslys blive reduceret, hvormed energiforbruget til kunstig belysning øges.

Det vejledende krav om antallet af timer, hvor den operative temperatur overskrider 26 °C og 27 °C jævnfør [DS 474, 1994], anvendes til udarbejdelse af en lokal følsomhedsanalyse for den termiske komfort. Til optællingen er der anvendt antallet af timer, hvor den operative temperatur overskrider henholdsvis 26,2 °C og 27,2 °C. Der er kun anvendt resultater bestemt for ALFA-bygningen vedrørende den termiske komfort, da den ønskede operative temperatur som forudsat altid opnås for BETA-bygningen.

I afhængighed af parametervariationen kan den lokale følsomhed for antallet af timer, hvor den operative temperatur overskrider 26,2 °C ses i Tabel 8-4 for ALFA-bygningen for forventningsklasse A, B og C.

	ALFA-bygning		
	Klasse A	Klasse B	Klasse C
Bygningsmasse	0,90	1,45	1,48
Solafskærmning	0,42	0,27	0,09
Intern belastning	0,18	0,25	0,18
Lysregulering	0,94	0,90	0,47

**Tabel 8-4:** Lokal følsomhed af den operative temperatur over 26,2 °C i afhængighed af forventningsklasse og parametervariation.

For ALFA-bygningen indikerer den lokale følsomhedsanalyse, at bygningsmassen samt lysregulering har størst indflydelse på den operative temperatur. Som det fremgår af Tabel 8-4, falder indflydelsen af lysregulering for den operative temperatur for klasse C, men dette skyldes dog et højere setpunkt. For forventningsklasse A og B kan det endvidere ses, at solafskærmningen har relativ høj indflydelse på den operative temperatur. Indflydelsen af den interne belastning på den operative temperatur er til stede, men mere moderat for alle tre forventningsklasser.

Den lokale følsomhed for antallet af timer, hvor den operative temperatur overskrider 27,2 °C kan ses i Tabel 8-5.

	ALFA-bygning		
	Klasse A	Klasse B	Klasse C
Bygningsmasse	1,48	1,58	1,73
Solafskærmning	0,61	0,61	0,61
Intern belastning	0,21	0,25	0,44
Lysregulering	1,58	1,56	1,73

**Tabel 8-5:** Lokal følsomhed af den operative temperatur over 27,2 °C i afhængighed af forventningsklasse og parametervariation.

Af Tabel 8-5 kan samme indflydelse af parametrene indflydelse på antallet af timer hvor den operative temperatur overskider 27,2 °C ses som for 26,2 °C (jævnfør Tabel 8-4), hvorfor samme konklusion kan drages.

Til belysning af den lokale følsomhed for den atmosfæriske komfort er antallet af timer, hvor den øvre grænse for CO<sub>2</sub> koncentrationen overskrides på 810 ppm, 1010 ppm og 1540 ppm for henholdsvis forventningsklasse A, B og C i afhængighed af parametervariation anvendt, se Tabel 8-6.

	ALFA-bygning		
	Klasse A	Klasse B	Klasse C
Bygningsmasse	0,57	1,01	1,55
Solafskærmning	0,17	0,34	0,91
Intern belastning	0,26	0,40	1,17
Lysregulering	1,32	1,62	2,58

**Tabel 8-6:** Lokal følsomhed af timer hvor den øvre grænse for CO<sub>2</sub> koncentrationen overskrides 810 ppm, 101 ppm og 1540 ppm for henholdsvis forventningsklasse A, B og C i afhængighed af parametervariation.

Her ses det, at lysreguleringen og bygningsmassen har størst indflydelse på CO<sub>2</sub> koncentrationen, hvilket delvis skyldes der luftes mere ud som følge af indflydelsen på den operative temperatur.

## 8.7 Styringsstrategier

For at optimere indeklimaet samt det samlede energiforbrug uafhængig af om det er en ALFA- eller BETA-bygning, er den valgte styringsstrategi af særlig vigtighed. For at opnå et energieffektivt byggeri bør det allerede i den indledende fase af projekteringen overvejes, hvordan bygningen skal styres.

I opvarmningssæsonen er det vigtigt at minimere luftskiftet, men uden at forringe den atmosfæriske komfort. For en BETA-bygning, som er mekanisk konditioneret, kunne dette for eksempel opnås med et ventilationsanlæg med variabel luftmængde (VAV styring). For en ALFA-bygning kan et åbne/lukke-program for indtagsåbningerne for den friske luft overvejes. Her åbnes indtagsåbningerne et givet antal minutter for at forsyne bygningen med frisk luft, hvorefter de lukkes et givet antal minutter for at minimere trækgener. Når indtagsåbningerne er lukket, stiger forureningskoncentrationen i rummet, som er bestemmende for, hvornår der er behov for udluftning af bygningen igen. Der skal dog stadig samlet opnås det nødvendige luftskifte pr. time for at ikke forringe den atmosfæriske komfort. For lavere forventningsklasse kan en lavere frekvens af åbninger overvejes, da kravet for det atmosfæriske indeklima er lavere. Endvidere vil der også være en buffereffekt i form af atriet, da kontormiljøerne er åbent forbundet hertil.

For sommerperioden er kølebehovet normalt større end varmebehovet, hvorfor det kan være centralt at fremme ventilationen i bygningen for at afkøle den. Åbningerne for den naturlige ventilation bør styres i kombination af både den operative temperatur og CO<sub>2</sub> koncentrationen i indeluften for at opnå både termisk og atmosfærisk komfort. Dertil kunne der overvejes et hybridssystem, hvor der installeres en hjælpeventilator i atriets top. Hermed kan den samlede drivkraft øges mekanisk, når den fra naturen givne drivkraft ikke er

tilstrækkelig. Aktivering af ventilatoren bør ligeledes styres efter en kombination af den operative temperatur samt CO<sub>2</sub> koncentrationen i indeluften.

I afhængighed af om det er sommer eller vinter ændrer køle- og varmebehovet sig, hvorfor funktionen af solafskærmningen ændrer sig. For sommerperioden er det fordelagtigt at minimere energitilskuddet til rummet fra solstråling. Hertil kan solafskærmning benyttes, hvor åbningsgraden af solafskærmning bør styres efter den operative temperatur for at minimere kølebehovet. For varmesæsonen stiger varmebehovet, hvorfor graden af solafskærmning bør tilpasses så der opnås et større varmetilskud. For både sommer og vinter bør det være muligt manuelt at styre solafskærmningen, så gener fra blænding og refleksion kan undgås.

Når bygningens masse øges for hermed at oplagre en større mængde energi for at minimere den operative temperaturs udsving, kræves der et vist tidsrum, hvor der ingen belastning er i bygningen.

Det er endvidere gunstig at anvende regulering af den almene belysning for at minimere elforbruget. Der kan opnås en forventet reduktion af elforbruget på den almene belysning ved f.eks. at anvende en kontinuert lysregulering på omtrent 40 % i nærværende case, hvorfor det må anbefales at benytte lysregulering styret efter et ønsket dagslysniveau.

For både ALFA- og BETA-bygningen kan kølebehovet reduceres ved at anvende natkøling, hvormed bygningen køles udenfor brugstiden. Dette vil være ”gratis” for ALFA-bygningen, da der ikke anvendes mekanisk ventilation modsat BETA-bygningen.

## 8.8 Sammenligning af faktisk og simuleret energiforbrug

Det faktiske energiforbrug for Københavns Energis domicil er oplyst til at være 142 kWh/m<sup>2</sup> og 166 kWh/m<sup>2</sup> for henholdsvis året 2006 og 2007. Heraf er der for året 2006 anvendt 102 kWh/m<sup>2</sup> og 40 kWh/m<sup>2</sup> på henholdsvis el- og varmeforbrug, hvor det for året 2007 er anvendt 107 kWh/m<sup>2</sup> og 60 kWh/m<sup>2</sup> på henholdsvis el- og varmeforbrug. For 2008 indikerer en aflæsning tæt på årsskiftet, at energiforbruget forventes at ligge i samme interval.

Ved sammenligning af det faktiske energiforbrug med det simulerede for ALFA-bygningen, er energiforbruget generelt simuleret lavere. Af Figur 7-1 kan det ses, at der er nogenlunde overensstemmelse mellem energiforbruget til elektricitet, mens at der er stor afvigelse mellem det faktiske og simulerede energiforbrug til opvarmning, hvor det simulerede er lavest. I [Larsen et al., 2006] er der i perioden 1. juli 2005 til 30. juni 2006 foretaget en indeklimateundersøgelse hos Københavns Energi. Her blev der fundet, at det generelle niveau for CO<sub>2</sub>-koncentrationen var langt under arbejdstilsynets krav på 1000 ppm, hvor den målte CO<sub>2</sub>-koncentration svarede til en bygning opført i forventningsklasse A. Forklaringen på dette skyldtes en overventilering, hvilket medfører et større energiforbrug til opvarmning, da vinduerne er åbne oftere end designet. For simuleringerne er den naturlige ventilation opsat, så den deaktiveres, når det ønskede interval for det atmosfæriske og termiske indeklimate er opnået, hvormed der simuleres et lavere energiforbrug til opvarmning, men også højere CO<sub>2</sub>-koncentrationer og operativ temperatur end det faktiske målte. Forskellen mellem det simulerede og faktiske energiforbrug belyser også, at det kan være svært at regulere naturlig ventilation, eftersom vinduerne må være åbne mere end nødvendig siden det faktiske varmeforbrug er højere, og CO<sub>2</sub>-koncentration lavere end det simulerede.

For BETA-bygningen er der ligeledes simuleret højere energiforbrug end det faktiske målte. Dette er dog også forventeligt, eftersom bygningen opfylder det ønskede interval for det atmosfæriske og termiske indeklimate. Af **Error! Reference source not found.**7-4 kan det ses, at der fås stort set samme energiforbrug på

opvarmning og elektricitet, hvor det forhøjede energiforbrug i forhold til ALFA-bygningen kan tilskrives ventilationsanlægget med mekanisk køling.

En anden usikkerhedsfaktor for simuleringen af det forventede energiforbrug for såvel ALFA- som BETA-bygningen er anvendelse af vejrdata. Til simuleringerne er der anvendt vejrdata for et referenceår, DRY vejrdata. Der må forventes en vis afvigelse af det faktiske vejr i forhold til DRY vejrdata, som også vil få en indflydelse på afvigelsen mellem det faktiske og det simulerede.

## 9 Konklusion

Igennem projektet er der foretaget en undersøgelse af det forventede besparelspotentiale ved definition og anvendelse af et ALFA og BETA koncept, hvor ALFA-konceptet svarer til en bygning med naturlig ventilation, hvor der modsat anvendes mekanisk ventilation med køling for BETA-konceptet. I det følgende foretages en sammenfatning af de observerede resultater efterfulgt af en kort perspektivering.

En tung bygning er ud fra parametervariation fundet at være gunstig i forhold til at minimere udsving af den operative temperatur. Varmeforbruget og kølebehovet kan reduceres ved at øge bygningens masse. Der blev ligeledes fundet, at anvendelse af solafskærmning vil kunne minimere kølebehovet. Som forventet betød det også en forøgelse af varmebehovet ved anvendelse af solafskærmning.

Det laveste energiforbrug opnås ved betydelig lysregulering både for ALFA- og BETA-bygningen uafhængig af forventningsklasse. For forventningsklasse B er det årlige energiforbrug ca. 40 kWh/m<sup>2</sup> for ALFA-bygningen og ca. 60 kWh/m<sup>2</sup> om BETA-bygningen (ved den mest fordelagtige kombination af parametre, henholdsvis case AB09 og BB09). Antallet af timer, hvor den operative temperatur overskrider 26 °C og 27 °C, er henholdsvis 72 og 24 timer for ALFA-bygningen. For BETA-bygningen er antallet nul. For ALFA-bygningen ved forventningsklasse B med betydelig lysregulering er det forventede antal timer, hvor CO<sub>2</sub>-koncentrationen vil overskride designværdien fundet til at være 373 timer. For BETA-bygningen er det nul.

Den opstillede hypotese om et besparelspotentiale på omtrent 15 kWh/m<sup>2</sup> ved at opføre en ALFA-bygning i stedet for en BETA-bygning ser ud til at være realistisk, da besparingspotentialet ved at gå fra en BETA- til ALFA-bygning i nærværende tilfælde ligger i intervallet 23 - 30 kWh/m<sup>2</sup>, 16 - 24 kWh/m<sup>2</sup> og 9 - 20 kWh/m<sup>2</sup> om året for henholdsvis forventningsklasse A, B og C. Ved to af casene – under forventningsklasse C - opnås kun et besparingspotential på 11 kWh/m<sup>2</sup> og 9 kWh/m<sup>2</sup>, hvilket er når den interne belastning reduceres eller betydelig lysregulering anvendes.

For ALFA-bygningen kan der ved styring efter forventningsklasse A samt ved optimering af styringen og bygningsudformningen opnås, at den operative temperatur holdes indenfor det vejledende jævnfør [DS 474, 1994].

For det atmosfæriske indeklime må en højere grad af diskomfort for ALFA-bygningen forventes periodevis som følge af for høj CO<sub>2</sub> koncentration i indeluften. Hybrid ventilation kunne være en løsningsmulighed, hvis kapaciteten af den naturlige ventilation er utilstrækkelig i for lange perioder. For den mekanisk ventilerede BETA-bygning, bør der ikke kunne opstå problemer med det atmosfæriske indeklime.

Overordnet viser analysen, at der kan forventes et besparelspotentiale ved anvendelse af ALFA konceptet. Vel og mærke uden at det nødvendigvis vil give et dårligt indeklime. Der er dog behov for yderligere undersøgelser af flere bygninger for at belyse potentialt mere bredt. Endvidere er der behov for en form for vægt-

ning af energiforbruget i forhold til indeklimaet, hvis bygningens *samlede* ydeevne skal optimeres<sup>6</sup>. Herunder vil en optimering bygningens ydeevne også kræve en vægtning af energi til opvarmning og el inklusiv COP-værdiens indflydelse på energiforbruget til køling.

## 10 Litteraturliste

[Aggerholm et al., 2007]:

Søren Aggerholm, Karl Grau, 2007, SBI-anvisning 213, Bygningers energibehov, Statens Byggeforskningsinstitut

[Andersen et al., 2002]:

Karl Terpager Andersen, Per Heiselberg, Søren Aggerholm, 2002, SBI-anvisning 202, Naturlig ventilation i erhvervsbygninger, Statens Byggeforskningsinstitut, ISBN: 87-563-1128-1

[Bjørn og Brohus, 2006]:

Bjørn, E., Brohus, H. Overall Evaluation of Indoor Climate and Energy for Alternative Office Designs using the Eco-factor, Journal of Civil Engineering and Management, ISSN 1392-3730, Vol. XII, No. 1, pp. 43 – 49, 2006.

[Brohus og Bjørn, 2006]:

Brohus, H., Bjørn, E. An Iterative Assessment Concept for Building Design based on the Eco-factor, Journal of Civil Engineering and Management, ISSN 1392-3730, Vol. XII, No. 1, pp. 51 – 56, 2006.

[CR 1752, 1998]:

Ventilation for buildings – Design criteria for the indoor environment, Dansk standard

[DS 418, 2002]:

Beregning af bygningers varmetab, Dansk standard, 6. udgave

[DS 474, 1994]:

Norm for specifikation af termisk indeklima, Dansk standard, 1. udgave

[Kurvers et al., 2006]:

Kurvers, S. R., Raue, A. K., van der Linden, K., Plokker, W. og Boerstra, A. C. (2006). Adaptive thermal comfort set to practice: Considerations and experiences with the new dutch guideline. *Healthy Buildings*, side 87-92.

[Larsen et al., 2006]:

Tine Steen Larsen, Rasmus Lund Jensen, Olena Kalyanova og Per Heiselberg, Indeklimaundersøgelse hos Københavns Energi, Aalborg Universitet, ISSN 1901-726X

[van der Linden et al., 2006]:

van der Linden, A. C., Boerstra, A. C., Raue, A. K., Kurvers, S. R. og de Dear, R. J. (2006). Adaptive temperature limits: A new guideline in the netherlands. a new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate. *Energy and Buildings*, 38:8-17.

[Olsen et al., 2002]:

---

<sup>6</sup> Det kunne eksempelvis ske ved hjælp af den såkaldte Eco-factor [Bjørn og Brohus, 2006], [Brohus og Bjørn, 2006].



Jens Rømer Olsen, Fin Rolf Jacobsen, Poul Behnk, Vagn Nielbo, Asger Myken, Vagn Holk Lauridsen, Mette Hansen, René Rothman, Mogens Johansson, Kaj Jensen, Henrik Amdi Madsen, Bjarne Zetterstrøm, John B. Lund, 2002, Energihåndbogen – råd og vejledninger, Foreningen For Energi & Miljø, ISBN: 87-983525-1-2

[Rockwool A/S, 2008]:

Rockwool A/S, 2008, <http://www.rockwool.dk/sw8736.asp>, sidst set d. 1 oktober 2008.

[Scanglas A/S, 2008]:

[http://www.scanglas.dk/scanglas/Glasprodukter/produkt\\_datablade/produkt\\_datablade.asp](http://www.scanglas.dk/scanglas/Glasprodukter/produkt_datablade/produkt_datablade.asp), sidst set d. 7. september 2008

[Stampe et al., 1997]:

Ole B. Stampe, P. Kjerulf-Jensen, H. E. Hansen, Varme- og klimateknik – Danvak grundbog, 2. udgave, 1997, ISBN: 98-982652-8-8

[Steen-Thøde et al., 2001]:

Mogen Steen-Thøde, Carl Erik Hyldgård, E. J. Funch, 2001, Grundlæggende klimateknik og bygningsforsyk, Aalborg Universitet

[WindowMaster, 2003]:

WindowMaster A/S, 2003, Københavns Energi – dynamisk analyse

[Wittchen et al., 2008]:

Kim B. Wittchen, Kjeld Johnsen, Kral Grau, Jørgen Rose, 2008, BSim, Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet

## **Appendiks 5:**

### **BSim analyse af Københavns Energis kontorbygning - bilagsrapport**

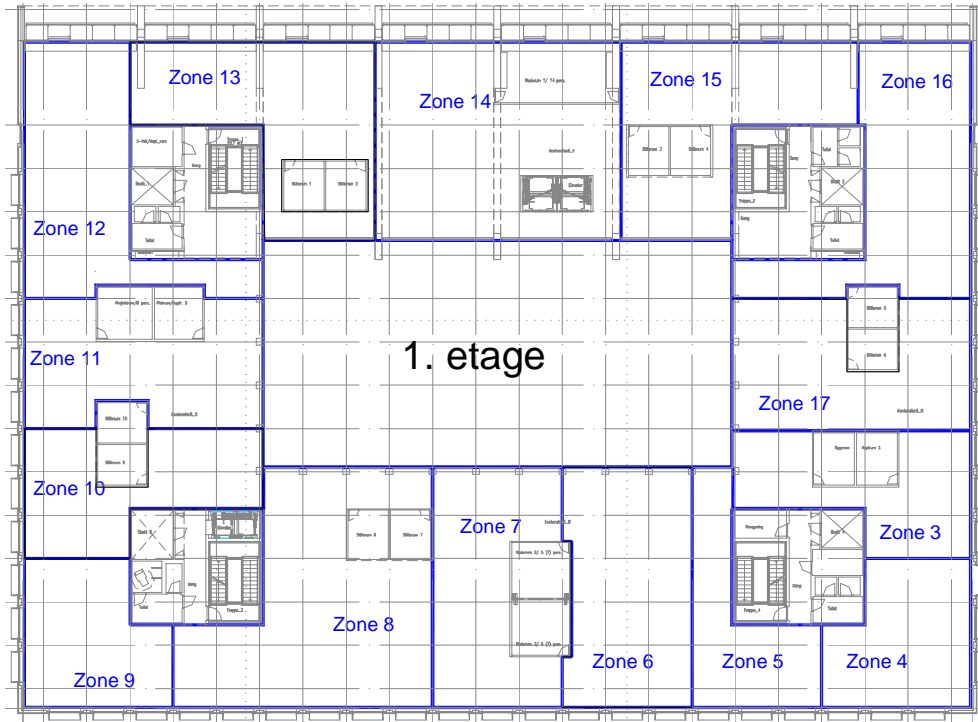
## **Indholdsfortegnelse for Bilag**

A.	Bygningstegninger .....	2
B.	Simplificeret varmekapacitetsberegning .....	6
C.	Beregning af det nødvendige luftskifte .....	9
D.	Opsætning i BSim .....	10
E.	Energiforbrug .....	22
F.	Termisk indeklima .....	25
G.	Atmosfærisk indeklima .....	37
H.	Købehavns Energi udgangspunkt.....	60
I.	Beregning af termisk drivkraft.....	61
J.	Beregning af primært energiforbrug .....	64

# A. Bygningstegninger

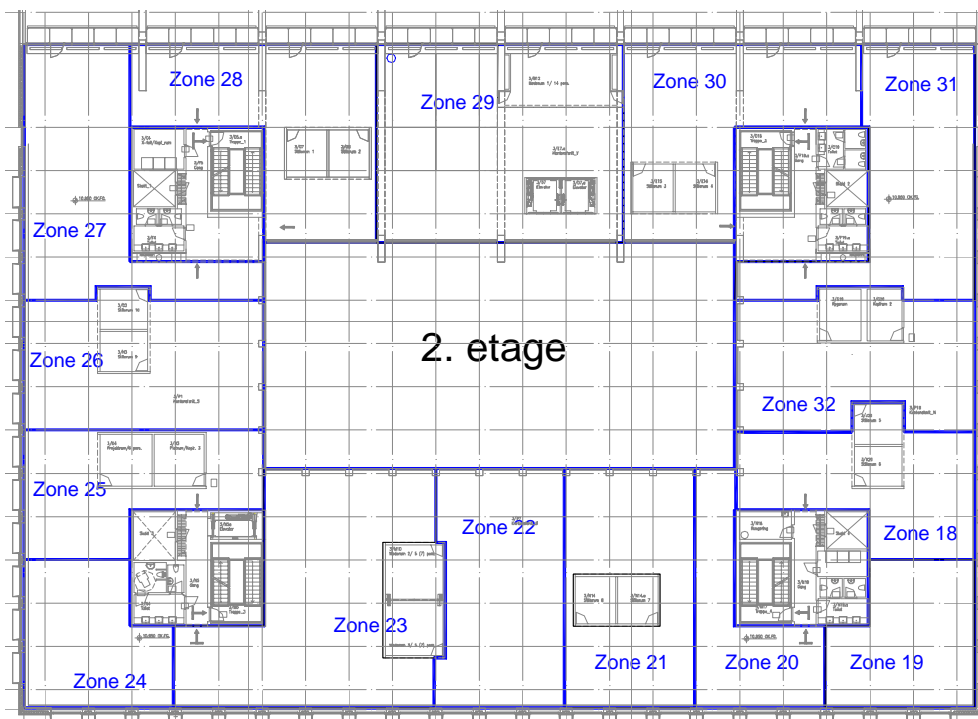
I det følgende bilag kan plantegninger af bygningens 1-4. sal samt tvær- og længdesnit ses.

Ørestads Boulevard

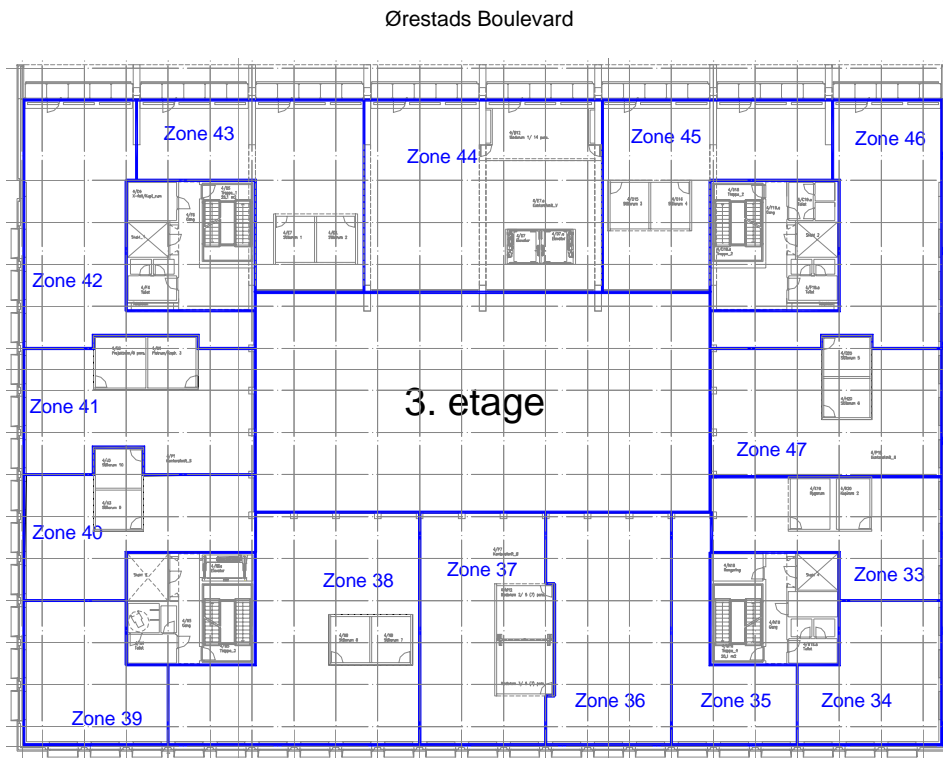


Figur 1: Plantegning af bygningens 1. sal, Ørestads Boulevard lokaliseret mod vest.

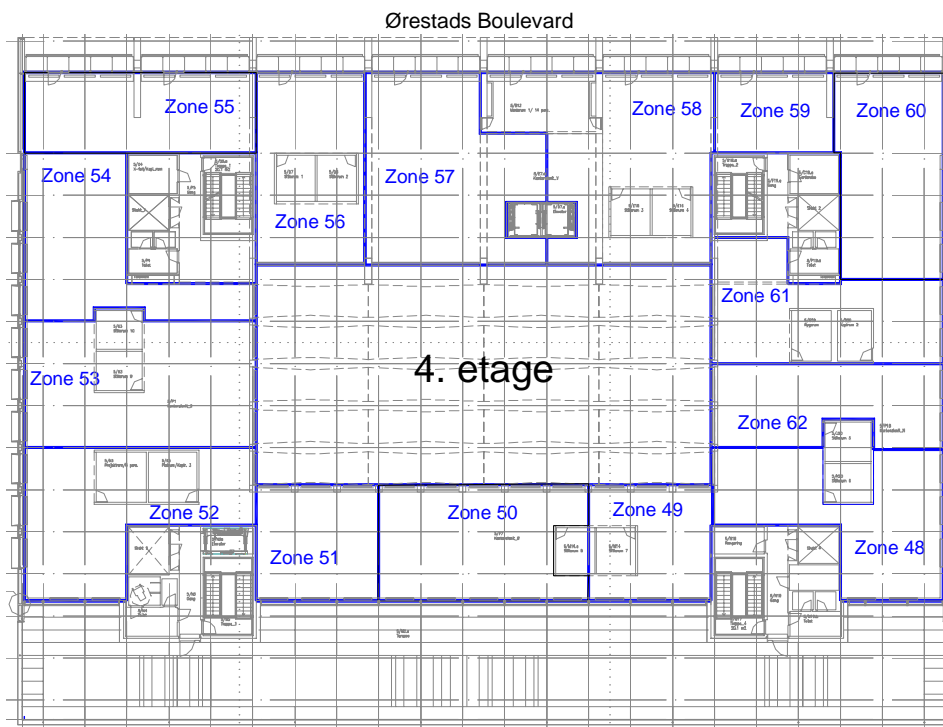
Ørestads Boulevard



**Figur 2:** Plantegning af bygningens 2. sal, Ørestads Boulevard lokaliseret mod vest.



**Figur 3:** Plantegning af bygningens 3. sal, Ørestads Boulevard lokaliseret mod vest.







## B. Simplificeret varmekapacitetsberegning

I det følgende bilag foretages en simplificeret beregning af bygningens faktiske varmekapacitet. Endvidere beregnes en ny varmekapacitet af henholdsvis to omgange for at opnå en forøgelse/formindskelse på 25 %. En vægtet værdi af den termiske masse antages at kunne bestemmes tilnærmet via:

$$\bar{C} = \frac{\sum A_i \cdot c_i}{\sum A_i}$$

hvor

$\bar{C}$  arealvægtet varmekapacitet for overfladematerialerne [J/kgK]

$A_i$  areal af den  $i$ 'te overflade [m<sup>2</sup>]

$c_i$  varmekapacitet for den  $i$ 'te overflade [J/kgK]

Først udregnes en overslagsmæssig værdi af kontorudsnittets faktiske termiske. Overfladernes areal samt varmekapaciteten er listet i Tabel 1. Heraf kan det findes, at kontorudsnittets faktiske vægtede termiske masse er 1228 J/kgK ved division af  $\sum A_i c_i$  med det samlede overfladeareal.

Konstruktion	Materiale	Areal [m <sup>2</sup> ]	Varmekapacitet [J/kgK]	$A_i \cdot c_i$ [Jm <sup>2</sup> /kgK]
Skillevæg (4stk)	Gips	51	1000	51.000
Vægge mod trappekasse	Gips	49	1000	49.443
Atrievæg	Gips	50	1000	49.555
Inderside af ydervæg	Pudset beton	50	800	39.699
Vinduer(glas)	Glas	43	840	36.216
Vinduer(karm)	Træ	9	900	8.237
Loft	Fiberplade	534	800	427.200
Gulv	Træ	534	1800	961.200
Møblement	-	53	1200	63.000
			1372	1.685.549

**Tabel 1:** Overfladearealer samt den faktiske varmekapacitet for overfladerne.

Til beregningen er det antaget, at der anvendes 1,5 m<sup>2</sup> arkivplads per person som møblement, hvilket samlet svarer til omtrent 53 m<sup>2</sup> arkivplads. Arealet svarer til overfladen af arkivet, som tilskrives varmekapaciteten 1200 J/kgK, hvilket svarer til papirs varmekapacitet. Varmekapaciteten for glasset i vinduet samt rammen er antaget henholdsvis at antage værdien 840 J/kgK og 900 J/kgK. Fra tabellen fremgår det også at møblelementet udgør omkring 4 % af den samlede termiske masse.

Da BSim ikke regner med nogen varmekapacitet for vinduet, glas og rammen, samt for møblement foretages en modifikation. Modifikation består i at produktet  $A_i \cdot c_i$  for vinduerne og møblelementet tilskrives en af fladerne, hvor varmekapaciteten indgår i BSim's beregningsrutine. Det vælges at tilskrive produktet  $A_i \cdot c_i$  for vinduerne og møblelementet til loftet for alle simuleringerne.



Den termiske masse der anvendes som udgangspunkt for BSim modellerne fremgår af Tabel 2. Ved sammenligning med værdierne fra Tabel 1 kan det ses, at det kun er loftets varmekapacitet, som er ændret for at opnå overensstemmelse mellem den faktiske termiske masse og BSim modellerne.

Konstruktion	Materiale	Areal [m <sup>2</sup> ]	Varmekapacitet [J/kgK]	$A_i \cdot c_i$ [Jm <sup>2</sup> /kgK]
Skillevæg (4stk)	Gips	51	1000	51.000
Vægge mod trappekasse	Gips	49	1000	49.443
Atrievæg	Gips	50	1000	49.555
Inderside af ydervæg	Pudset beton	50	800	39.699
Loft	Fiberplade	534	559	405.742
Gulv	Træ	534	1800	961.200
			1268	1.556.639

**Tabel 2:** Overfladearealer samt den termiske masse for BSim modellerne uden variation af den termiske masse.

Herefter benyttes denne samlede termiske masse for BSim modellerne med variation  $\pm 25$  % i afhængighed af om massen øges eller mindskes som randbetingelse svarende til casene med henholdsvis indeksnummer 02 og 03.

### Øget termisk masse

Der foretages en ændring af alle overfladernes termiske egenskaber for forøgelsen af kontorudsnittets samlede termiske masse med undtagelsen af gulvet. Grunden til at gulvets varmekapacitet ikke øges er, at solindfaldet er mere dominerende på denne flade i forhold til de andre falder. Det samlede produkt,  $A_i \cdot c_i$ , for vinduerne og møblelementet tillægges loftet. Arealet for loftet og det samlede produkt  $A_i \cdot c_i$  er kendt, hvormed kontorudsnittets nye regningsmæssige forøgede varmekapacitet kan findes. Resultatet for fladernes øgede varmekapacitet fremgår af Tabel 3.

Konstruktion	Materiale	Areal [m <sup>2</sup> ]	Varmekapacitet [J/kgK]	$A_i \cdot c_i$ [Jm <sup>2</sup> /kgK]
Skillevæg (4stk)	Fiberplade	51	1650	84.150
Vægge mod trappekasse	Fiberplade	49	1650	81.581
Atrievæg	Fiberplade	50	1650	81.765
Inderside af ydervæg	Pudset beton	50	800	39.699
Vinduer(glas)				
Vinduer(karm)				
Loft	Beton	534	1105	697.404
Gulv	Træ	534	1800	961.200
			1268	1.945.798

**Tabel 3:** Overfladearealer og varmekapacitet ved øget termisk masse.

Som randbetingelsen til bestemmelse af kontorudsnittets nye varmekapacitet er det benyttet, at en forøgelse af den samlede termiske masse på 25 % af 1228 J/kgK svarer til 1535 J/kgK.

### Reduceret termisk masse

De indvendige overflades varmekapacitet ændres ved at påsætte et lag isolering i form af fiberplader for at opnå en reduktion af den samlede varmekapacitet på 25 %. Det samlede produkt,  $A_i \cdot c_i$ , for vinduerne og møblelementet tillægges igen loftet. Opsummering af indgående værdier samt de nye varmekapaciteter kan ses i Tabel 4.

Konstruktion	Materiale	Areal [m <sup>2</sup> ]	Varmekapacitet [J/kgK]	$A_i \cdot c_i$ [Jm <sup>2</sup> /kgK]
Skillevæg (4stk)	Fiberplade	51	350	17.850
Vægge mod trappekasse	Fiberplade	49	350	17.305
Atrievæg	Fiberplade	50	350	17.344
Inderside af ydervæg	Pudset beton	50	800	39.699
Loft	Fiberplade	534	12	114.081
Gulv	Træ	534	1.800	961.200
		1.268		1.167.479

**Tabel 4:** Overfladearealer samt varmekapacitet for reduceret termisk masse.

Som randbetingelsen til bestemmelse af kontorudsnittes nye varmekapacitet er det benyttet, at en reduktion af den samlede termiske masse på 25 % af 1228 J/kgK svarer til 921 J/kgK.

## C. Beregning af det nødvendige luftskifte

I det følgende bilag forklares beregning af det nødvendige luftskifte for det betragtede kontorudsnit fra Københavns Energi i afhængighed af forventningsklasserne A, B og C jævnt [CR 1752, 1998], hvor den øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentrationen i indeluften tillades at være henholdsvis 810 ppm, 1010 ppm og 1540 ppm ved en CO<sub>2</sub> koncentration på 350 ppm i udeluften.

Den producerede mængde carbondioxid fra et voksent menneske i afhængighed af forventningsklasse kan bestemmes af [Stampe et al., 1997]:

$$q_{v,CO_2} = 17 \cdot M$$

hvor

$q_{v,CO_2}$  er carbondioxidproduktionen [l/t]

$M$  stofskiftet [met]

Det nødvendige luftskifte for atmosfæriske komfort med den kendte mængde carbondioxid i indeluften kan bestemmes af [Steen-Thøde et al., 2001]:

$$n = \frac{q_{v,CO_2}}{V(c - c_i)}$$

hvor

$V$  er rummets volumen [m<sup>3</sup>]

$c$  er øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration [ppm]

$c_i$  er CO<sub>2</sub> koncentration i udeluften [ppm]

I projektet anvendes en CO<sub>2</sub> koncentration i udeluften,  $c_i$ , på 350 ppm.

Med et volumen af rummet på omtrent 534 m<sup>3</sup> er det nødvendige luftskifte i afhængighed af forventningsklasse opsummeret i

	Personer [stk]	$c$ [ppm]	$q$ [m <sup>3</sup> /h]	$n$ [h <sup>-1</sup> ]
Klasse A	35	810	0,714	0,94
Klasse B	35	1010	0,714	0,65
Klasse C	35	1540	0,714	0,36

**Tabel 5:** Det nødvendige luftskifte bestemt ud fra den øvre tilladte CO<sub>2</sub> koncentration i indeluften i afhængighed af forventningsklasse A, B og C jævnt [CR 1752, 1998].

## D. Opsætning i BSim

I det følgende bilag kan opsætninger af de forskellige systemer for ALFA- og BETA-bygningen findes. For yderlig forklaring af de forskellige faktorer henvises der til programmet BSims brugermanual.

I Tabel 6 er systemerne samt deres opsætning for case UDGA listet.

System	Beskrivelse	Tidsplaner	
		Regulering	Tidsangivelse
Personlast 35 personer	35 personer, standard 10% tilstede 90% tilstede 100% tilstede		Hverdage kl. 17-24, lørdag kl. 8-17 Hverdage kl. 8-9 og 16-17 Hverdage kl. 9-16
Udstyr	6,0 W/m <sup>2</sup> , luftandel 0,7 10% tændt 75% tændt 100% tændt		Hverdage kl. 17-24, lørdag kl. 8-17 Hverdage kl. 8-9 og 16-17 Hverdage kl. 9-16
Infiltration	Grundlufts kifte 0,13 l/s m <sup>2</sup> i brugstiden og 0,09 l/s m <sup>2</sup> udenfor brugstiden. TmpFactor. 0 TmpPover. 0 WindFactor 0	69% 100%	Altid kl. 0-8 og 17-24 Altid kl. 8-17
Belysning	Særlys 1,0W/m <sup>2</sup> Almen belysning 10W/m <sup>2</sup> , 300lux Type: Lysstofrør (Fluorescent) Solar Limit 15 kW Til udsugning 0	Factor 0,1 Factor 1	Hverdage kl. 17-24, lørdag kl. 8-17 Hverdage kl. 7-17
Opvarmning	MaxPow 55kW Fixed Part 0 Part to Air 0,6	Factor 1,0 Set Point 20,0 °C Design Temp -12,0 MinPow 35 kW Te min 17,0°C	Aktiv alle timer i varmesæson. Uge 1-20 og 38-53
Naturlig ventilation	Basislufts kifte 0,65h <sup>-1</sup> TmpFactor 1,83  TmpPower 0,5  WindFactor 0,2 Max. AirChange 5	SetPoint 23 °C	Natkøling uge 21-37, kl. 0-6
		SetPoint 24 °C	Varmesæson, Uge 1-19 og 38-53 Hverdage kl. 7-17 og 17-24 Lørdage kl. 8-17
		SetPoint 26 °C	Sommer uge 20-37, Hverdage kl. 7-17 og 17-24 Lørdage kl. 8-17
		Set CO2 0 ppm	Natkøling uge 20-37, kl. 0-6
		Set CO2 1010 ppm	Hverdage kl. 7-24 Lørdage kl. 8-17
		Factor 1	

**Tabel 6:** Systemer og deres regulering for case UDGA.

Felterne markeret med gråt i Tabel 6 er de parametre, som varieres for simuleringerne. Det er vurderet at lysniveauet for almenbelysning er 300 lux for den besigtigede bygning som den er i dag. Da dagslysstyring er vurderet at være for dyrt er lyset tændt med 70 % styrke svarende til 210 lux, som anvendes for de efterfølgende simuleringer.

## Systemopsætning i BSim

Hvorledes systemerne modelleres i BSim med dertilhørende antagelser belyses i det følgende. Først omtales systemerne der anvendes for både ALFA og BETA bygningerne, hvorefter de specifikke systemer for henholdsvis ALFA og BETA bygningerne belyses.

### Solafskærmning

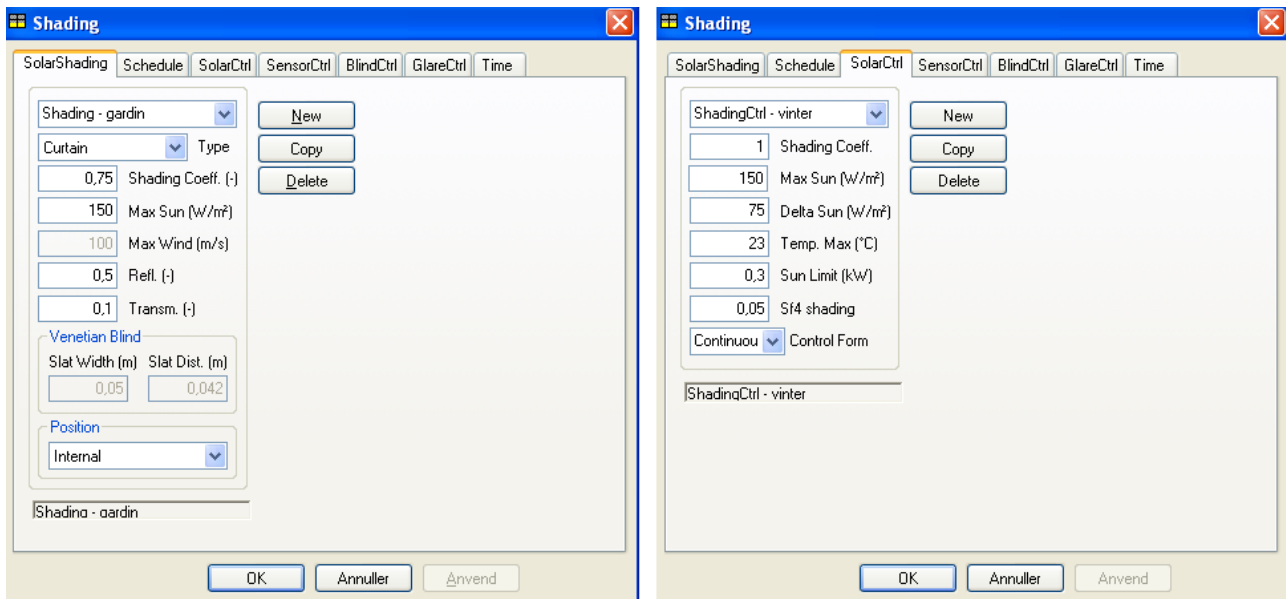
Som tidligere nævnt anvendes der tre grader af solafskærmning, ingen, moderat og betydelig. Moderat solafskærmning etableres med indvendig lyst tæt vævet gardin med en afskærmningsfaktor på 0,75, hvor der for betydelig solafskærmning anvendes udvendig persienner på 60° svarende til en afskærmningsfaktor på 0,15 jf. [Andersen et al., 2002].

Der varieres kun på to parameter i afhængighed af hvilken case der simuleres, hvor værdierne dels afhænger af forventningsklassen samt den pågældende case. De to parameter er *Shading Coeff.* og *Temp. Max*, hvor værdierne for *Temp. Max* i afhængighed af forventningsklasse er listet i Tabel 7.

System	Beskrivelse	Klasse	Sæson	Temp max [°C]	Tidsangivelse
Solafskærmning	Shading coeff. 0,75 Max sun 150W/m <sup>2</sup> Refl. 0,5 Transm. 0,1	A	Sommer	25,5	Hverdage kl. 7-24
					Lørdage kl. 8-17
			Vinter	23,0	Hverdage kl. 7-24
					Lørdage kl. 8-17
		B	Sommer	26,0	Hverdage kl. 7-24
					Lørdage kl. 8-17
			Vinter	24,0	Hverdage kl. 7-24
					Lørdage kl. 8-17
		C	Sommer	27,0	Hverdage kl. 7-24
					Lørdage kl. 8-17
			Vinter	25,0	Hverdage kl. 7-24
					Lørdage kl. 8-17

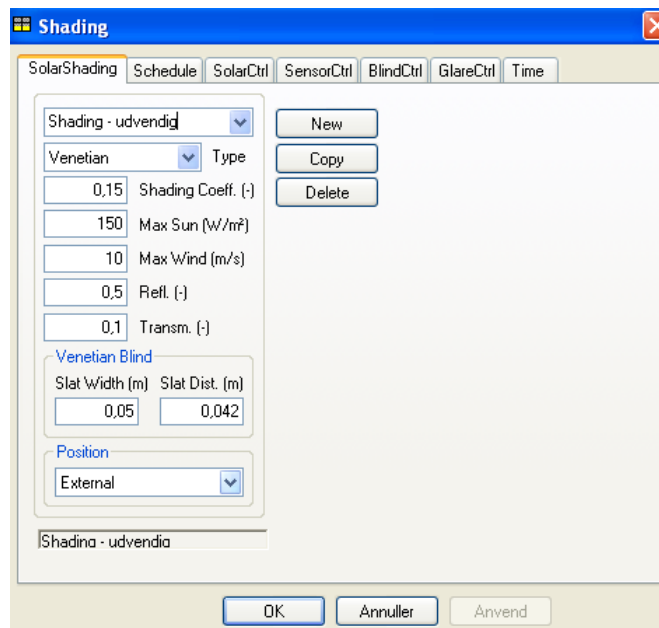
**Tabel 7:** Beskrivelse af systemopsætningen solafskærmning.

Moderat solafskærmning ønskes modeleret sådan at den kun er aktiv i brugstiden. Dette skyldes, at moderat solafskærmning svarer til gardiner, som er manuelt kontrolleret af de ansatte i kontoret. Opsætningen, i BSim som er anvendt til moderat solafskærmning, kan ses i Figur 7.



**Figur 7:** Opsætning af moderat solafskærmning for forventningsklasse A, sommercase.

For betydelig solafskærmning anvendes samme systembeskrivelse som for moderat solafskærmning listet i Tabel 7 dog med den ændring at solafskærmningsfaktoren sættes til 0,15. Endvidere sættes solafskærmning til at være aktiv altid. Opsætningen af betydelig solafskærmning i Bsim kan ses i Figur 8.

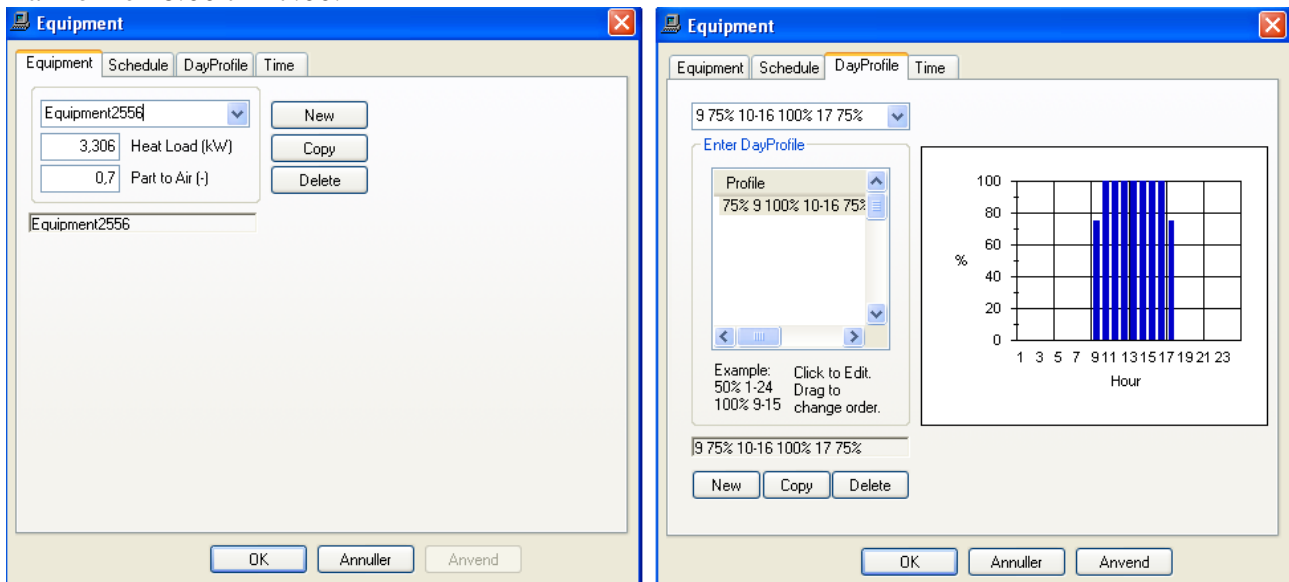


**Figur 8:** Opsætning af betydelig solafskærmning for forventningsklasse A.

Modsat moderat solafskærmning angives nu også en tilladelig maksimums vindhastighed da solafskærmning er udvendig. For at undgå skader på den udvendige solafskærmning forårsaget af vinden sættes afskærmningen ud af funktion når vindhastigheden er 10 m/s eller større. Der anvendes udvendige persienner med en lamelbredde på 50 mm og en lamelafstand på 42 mm. Opsætningen af *SolarCtrl* er identisk med den anvendte for moderat solafskærmning til højre på Figur 7.

## Internt varmetilskud

I henhold til [Aggelholm et al., 2007] kan der benyttes  $6,0 \text{ W/m}^2$  opvarmet etageareal som internt varmetilskud fra elektriske apparater dækkende computer, printer osv. Dette anvendes for alle casene med den givne variation på  $\pm 25 \%$ . Da tilskuddet bestemmes efter det udvendige bruttoareal er det uafhængigt af gulvarealets ændring når væggenes tykkelse øges når den termiske masse øges. Bruttoarealet for modellen udgør  $33 \times 16,7 \text{ m}$ , hvormed det interne varmetilskud antager værdien  $3306 \pm 827 \text{ W}$ . Andelen til luft er sat til 0,7. Dagsprofil kan ses på Figur 9, som er sat op til ugedage fra klokken 8:00 til 17:00.

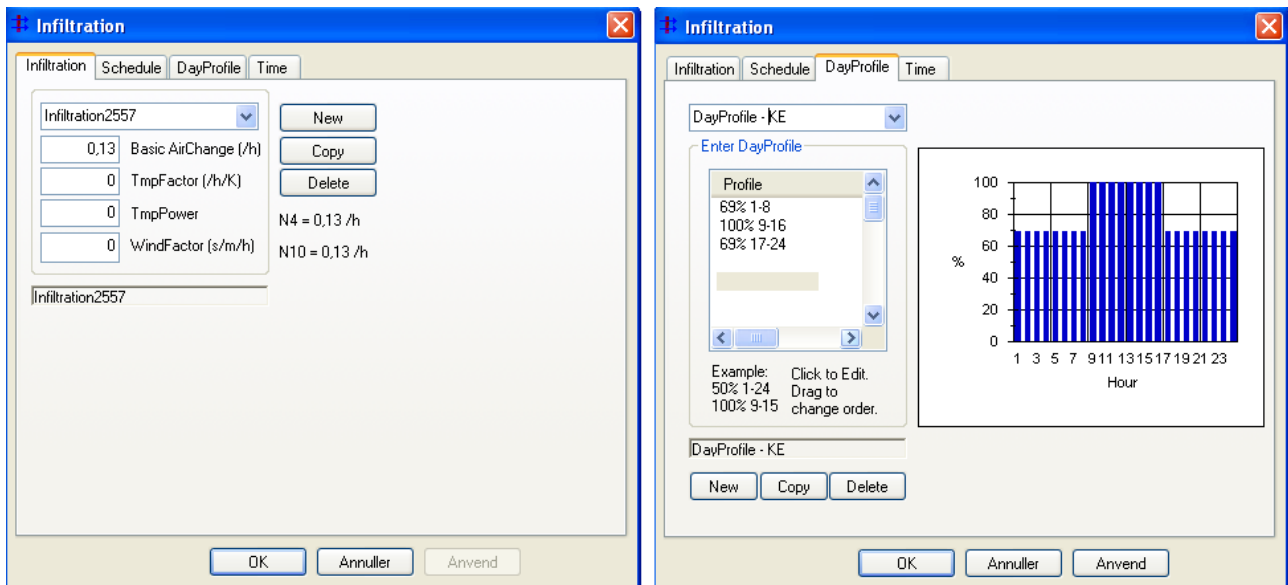


Figur 9: Opsætning af internt varmetilskud udgangspunkt fra kl. 8:00 til 17:00.

Opsætningen for weekender samt overarbejde er identisk, hvor den eneste forskel er arbejdstiden samt varmetilskuddet reduceres til 10 %, da det antages at arbejdsstyrken reduceres til dette antal.

## Infiltration

Der regnes med et grundluftskifte på  $0,13 \text{ l/s m}^2$  i brugstiden og  $0,09 \text{ l/s m}^2$  udenfor brugstiden som infiltration. Med et gulvareal på  $551 \text{ m}^2$  og et rumvolumen på  $2039 \text{ m}^3$  fås en infiltration svarende til et luftskifte i brugstiden og udenfor brugstiden til henholdsvis  $0,13 \text{ h}^{-1}$  og  $0,09 \text{ h}^{-1}$ . Opsætningen i BSim kan ses i Figur 10.

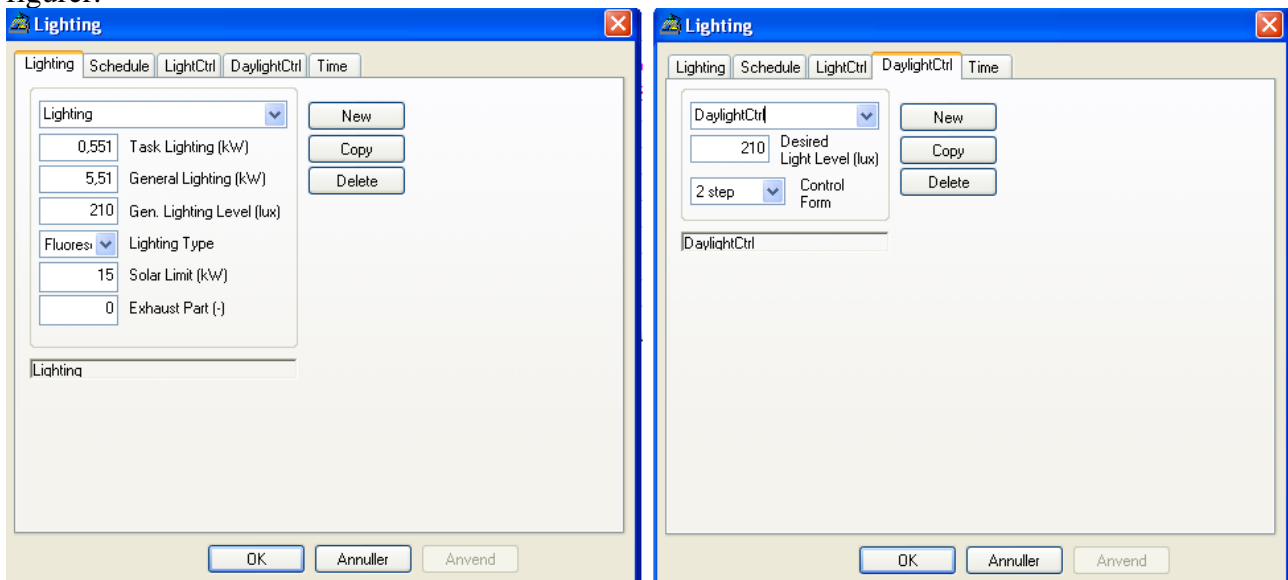


Figur 10: Illustration af infiltrationsopsætning.

I BSim modellerne regnes infiltrationen uafhængighed af vindretningen og temperaturen, da temperatur- og vindfaktoren begge er sat til nul.

## Belysning

Varmetilskudet bestemmes ud fra bruttoarealet på  $551\text{m}^2$  i afhængighed af lysreguleringstype. Der er tre reguleringsgrader af lysstyring: ingen, moderat og betydeligt hvor varmeafgivelsen henholdsvis er  $15\text{ W/m}^2$ ,  $10\text{ W/m}^2$  og  $7,5\text{ W/m}^2$ . Opsætning af belysningen er vist i nedenstående figurer.



Figur 11: Opsætning af moderat lysstyring i BSim for hverdage kl. 7-17.

For ingen lysregulering anvendes daylightcontrol, hvor der styres efter den operative temperatur. Værdien af den operative temperatur er sat tilstrækkelig højt,  $40\text{ }^\circ\text{C}$ , hvormed det forventes, at lyset vil være tændt for hele brugstiden, da den operative temperatur ikke vil antage så høj en værdi. For henholdsvis moderat og betydelig lysregulering reguleres der efter dagslysniveauet. For moderat



lysregulering er der valgt en trinvis styring, 2 step [0, 50%, 100%], hvor der anvendes en kontinuerlig regulering for betydelig lysregulering.

For at tage hensyn til evt. overarbejde samt anden forfalden aktivitet i kontorområdet er belysning også aktiv for hverdage i tidsrummet 17:00 til 24:00 dog med en reducere ift. normal arbejdstid. Reduceringen foretages ved at varmeafgivelsen for belsningen sættes til 30 %, 20 % og 10 % for henholdsvis ingen, moderat og kontinuert lysregulering ift. udgangspunktet, 15 10 og 7,5W/m<sup>2</sup>, anvendt i normal arbejdstid. Ligeledes er belsning også aktiv om lørdage med samme vægtning men dog for tidsrummet 8:00 til 17:00 for at tage hensyn til evt. aktivitet i kontoret.

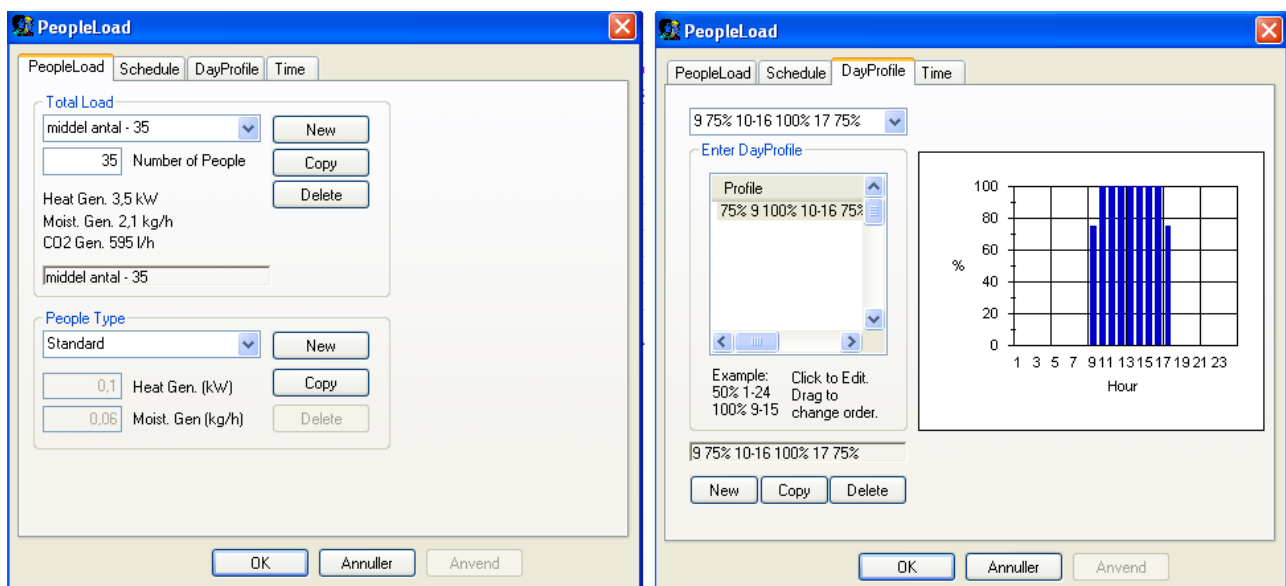
Det bemærkes, at det kun er almenlyset, der reguleres, mens særligt altid regnes tændt inden for de definerede tidsangivelser.

## Personbelastning

Antallet af personer er baseret på optælling foretaget af [Larsen et al., 2006], hvorudfra der kvalitativ er foretaget en vægtning som følger:

- 8-9: 75% (26pers)
- 9-16:100% (35pers)
- 16-17:75% (26 pers)

Aktivitetsniveauet er sat til stillesiddende kontorarbejde svarende til 1,2 met. Der er ikke foretaget reducere af personbelastning i frokostpausen idet kantinen ikke kan servicere alle på en gang – forskudte frokostpauser. Opsætning af personbelastningen for en hverdag kan ses på Figur 12.



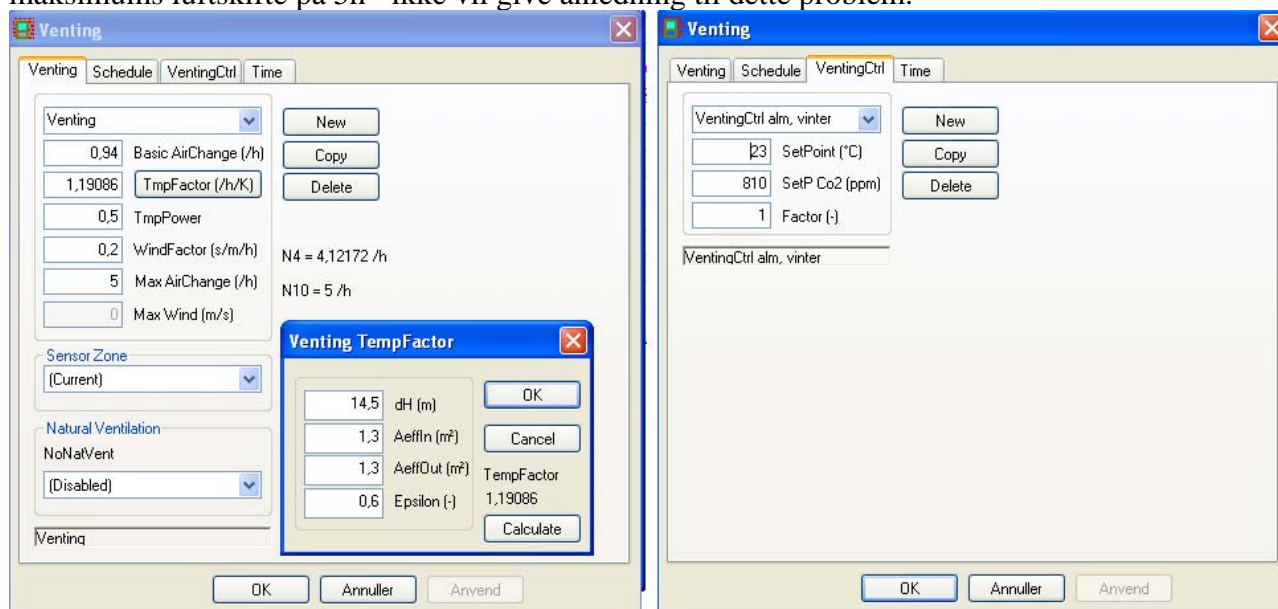
Figur 12: Opsætning af personer for en hverdag fra kl. 8 til 17.

Opsætningen for weekender samt overarbejde er identisk, hvor den eneste forskel er arbejdstiden samt arbejdsstyrken antages at svare til 10 %. Arbejdstiden fremgår endvidere af Tabel 6.

## ALFA opsætning

### Naturlig ventilation

Naturlig ventilation moduleres med det integrerede modul *Venting* i BSim. Input til modulet er et basisluftsufte, det samlede geometriske areal af indtags- og afkaståbninger samt højdeforskellen. Højdeforskellen mellem indtag og udkast er skønnet til at være 14,4 m på baggrund af arkitekttegningerne. Det geometriske åbningsareal er fundet ud fra rapporten *Københavns Energi – Dynamisk Analyse* udarbejdet af WindowMaster. Heri er det angivet at det geometriske åbningsareal for hele etagen er fundet til at skulle være  $12 \text{ m}^2$ . Ud fra en vægtning af det betragtede kontorområdes areal i forhold til hele etagens areal er det fundet, at det geometriske åbningsareal for indtag til at forsyne det betragtede kontorområde med frisk luft er omtrent  $2 \text{ m}^2$ . Det samme areal anvendes for udkast som for indtag. I Figur 13 er indtastning af de indgående parametre vist samt udregningen af TempFactor som afhænger af åbningernes størrelse samt afstanden imellem. Afstanden er målt fra midten af åbningerne. For naturlig ventilation skal det sikres at åbningerne lukkes når luftskiftet antager for stor størrelse for at undgå trækgener. Det vurderes at et maksimums luftsufte på  $5 \text{ h}^{-1}$  ikke vil give anledning til dette problem.



**Figur 13:** Opsætning af naturlig ventilation for en vintersituation via modulet *Venting* i BSim for forventningsklasse A.

Brugsskemaet samt kontrollen skal opsættes for henholdsvis sommer og vinter samt for arbejdstid, overarbejde og weekendarbejde. Kontrollen af åbningerne vil i arbejdstiden afhænge af setpunktet for køling samt grænsen for  $\text{CO}_2$ . Setpunktet for køling afhænger af årstiden, da en højere temperatur i kontorområdet kan accepteres om sommeren end om vinteren. Brugsskemaernes varighed samt kontrol i afhængighed af sæson samt ønsket klasse for indeklima er opsummeret i Tabel 8.

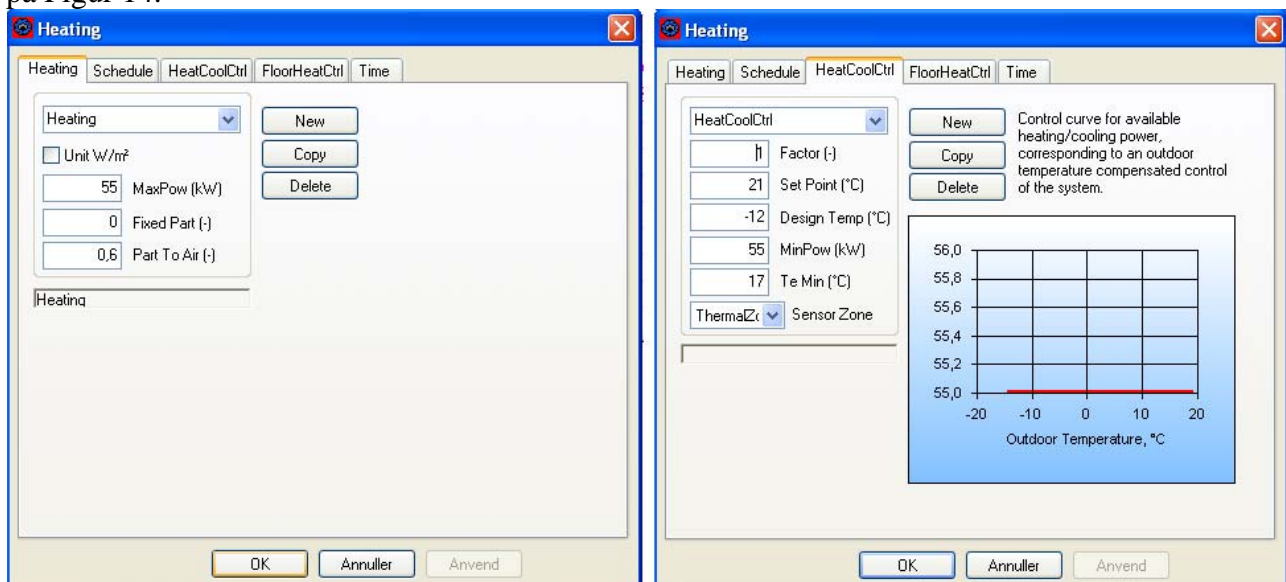
Periode		Klasse A		Klasse B		Klasse C	
Sommer	Tid	Temperatur [°C]	CO <sub>2</sub> [ppm]	Temperatur [°C]	CO <sub>2</sub> [ppm]	Temperatur [°C]	CO <sub>2</sub> [ppm]
Alm. Arbejde	07:00 - 17:00	25,5	840	26,0	1010	27	1540
Overarbejde	17:00 - 24:00	25,5	840	26,0	1010	27	1540
Weekend arbejde	08:00 - 17:00	25,5	840	26,0	1010	27	1540
Natkøling	00:00 - 06:00	23,5	0	23	0	22	0
Vinter							
Alm. Arbejde	07:00 - 17:00	23	840	24	1010	25	1540
Overarbejde	17:00 - 24:00	23	840	24	1010	25	1540
Weekend arbejde	08:00 - 17:00	23	840	24	1010	25	1540

**Tabel 8:** Setpunkter for naturlig ventilation i afhængighed af forventningsklasse samt tidsrum.

Når natkøling ved hjælp af naturlig ventilation er aktiv styres den 100 % efter temperaturen, hvorfor setpunktet for CO<sub>2</sub> er sat til 0. Kontrolstrategien for natkøling er at få bygningen kølet ned til den nedre termiske design værdi jf. klasserne A, B og C. Dette gøres da det er gratis at køle bygningen med naturlig ventilation i modsætning til mekanisk køling. Som tidligere nævnt er vintermånederne kvalitativt inddelt til at gå fra uge 1-20 og 38-53, hvor sommermånederne er fra uge 21-37. Dette anvendes sammen med de angivne tidsrum, sæson og forventningsklasse jf. Tabel 8 ved opsætning af brugsskemaet for systemet.

## Opvarmning

Der anvendes et varmesystem til opvarmning af ALFA-bygningen. Som følge af at det er en ALFA-bygning, kan det forventes, at brugerne tilpasser sig det termiske indeklima i form af beklædningen samt muligheden for selv at åbne vinduer, hvorfor det er valgt ikke at benytte varmesystemet fra midt maj til midt september, uge 20 – 37 begge inkl. Opsætningen for forventningsklasse A kan ses på Figur 14.



**Figur 14:** Opsætning af opvarmningssystem for ALFAbygningen forventningsklasse A.

Setpunktet for opvarmning i afhængighed af forventningsklasse er listet i Tabel 9.

Klasse	Setpunkt [°C]	Tidsrum
A	21	Uge 0-20 og 38-53, alle timer
B	20	
C	19	

**Tabel 9:** Setpunkter for opvarmning i afhængighed af forventningsklasse.

De andre parameter vist i Figur 14 forbliver uændret for ALFA-bygningen.

## BETA Opsætning

### Mekanisk ventilation

For BETA bygningerne anvendes den mekaniske ventilation til at opvarme og køle bygningen ud at sikre atmosfærisk komfort i brugstiden. Om natten anvendes der natkøling i sommersæsonen for at fjerne dagens oplagrede energi fra bygningen. Ventilationsanlægget styres efter zones temperatur, hvor opsætningen af anlægget fremgår af Tabel 10, hvor setpunkterne for den almindelige ventilation for sommer og vinter i afhængighed af forventningsklasse kan ses. Endvidere kan setpunkterne for natkøling ses i Tabel 12.

System	Beskrivelse	Klasse	Sæson	Regulering					Tidsangivelse
				Part of nom. Flow [-]	Min inlet [°C]	Max inlet [°C]	Heating set point [°C]	Cooling set point [°C]	
Ventilation Zonetemperatur styring	<u>Input</u> Supply 0,43 m <sup>3</sup> /s Pressure Rise 840 Pa Total Eff. 0,7 Part to Air 1,0 <u>Output</u> Return 0,43 m <sup>3</sup> /s Pressure Rise 840 Pa Total Eff. 0,7 Part to Air 0,0 <u>Recovery Unit</u> Max Heat Rec 0,70 Min Heat Rec 0 Max Cool Rec 0,70 Max Moist Rec 0 <u>Heating Coil</u> Max Power 100 kW <u>Cooling Coil</u> Max Power -50 kW	A	Sommer	0,1	17	40	23,5	24,5	Hverdage kl. 17 -24
									Lørdage kl. 8 - 17
			1	17	40	23,5	24,5	Hverdage kl. 7 - 17	
			Vinter	0,1	17	40	21	22	Hverdage kl. 17 -24
									Lørdage kl. 8 - 17
			1	17	40	21	22	Hverdage kl. 7 - 17	
		B	Sommer	0,1	17	40	23	25	Hverdage kl. 17 -24
									Lørdage kl. 8 - 17
			1	17	40	23	25	Hverdage kl. 7 - 17	
			Vinter	0,1	17	40	20	23	Hverdage kl. 17 -24
									Lørdage kl. 8 - 17
			1	17	40	20	23	Hverdage kl. 7 - 17	
C	Sommer	0,1	17	40	22	26	Hverdage kl. 17 -24		
							Lørdage kl. 8 - 17		
	1	17	40	22	26	Hverdage kl. 7 - 17			
	Vinter	0,1	17	40	19	24	Hverdage kl. 17 -24		
							Lørdage kl. 8 - 17		
	1	17	40	19	24	Hverdage kl. 7 - 17			

**Tabel 10:** Systembeskrivelse og setpunkter for ventilationsanlægget i afhængighed af forventningsklasse.

I Tabel 10 er setpunktet for køling sat 1 °C lavere ift. kravet for forventningsklasse A, B og C. Dette skyldes, at når der anvendes et køleanlæg i BSim opstår der problemer, da ventilations- og køleanlægget står og pendler, da de har samme setpunkt for køling.

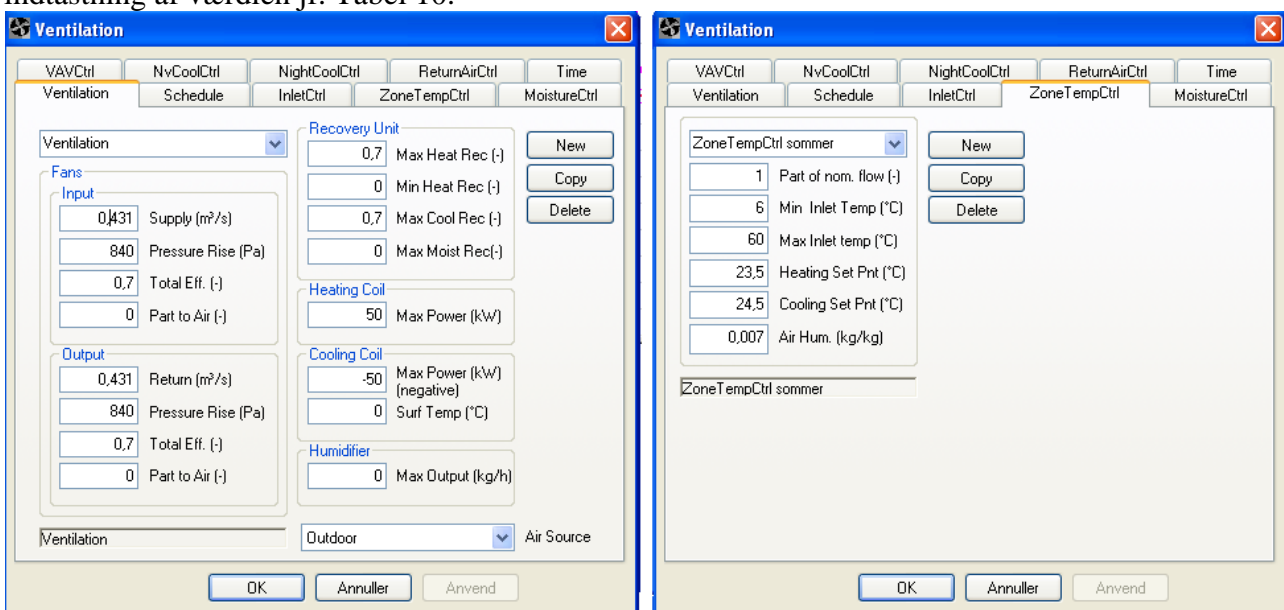
De to felter markeret med gråt i Tabel 10 er den nødvendige luftmængde for at opfylde kravet om atmosfærisk komfort og skal derfor ændres i afhængighed til forventningsklasse A, B eller C for simuleringerne. Den nødvendige luftmængde i afhængighed af forventningsklassen fremgår af Tabel 11.

	CO <sub>2</sub>			
	[h <sup>-1</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[l/s person]	[l/s m <sup>2</sup> ]
Klasse A	0,9	0,43	12	0,81
Klasse B	0,7	0,30	9	0,56
Klasse C	0,4	0,17	5	0,31

**Tabel 11:** Nødvendigt luftskifte ud fra atmosfærisk komfort bestemt ud fra tilladelig mængde af CO<sub>2</sub> i indeluften jf. [CR 1752, 1998].

Til opsætning af brugsskemaet anvendes tidsangivelsen fra Tabel 10, hvor vintermånederne kvalitativt er inddelt til at gå fra uge 1-19 samt 38-53 og sommermånederne er fra uge 20-37 som tidligere nævnt.

På Figur 15 kan opsætningen af mekanisk ventilation styret efter zonetemperaturen ses med indtastning af værdien jf. Tabel 10.



**Figur 15:** Opsætning af mekanisk ventilation med zonetemperatur styring.

Til bestemmelse af et overslagsmæssig tryktab i ventilationssystemet anvendes kravet om, at der maksimal må bruges 2500 J/m<sup>3</sup> til lufttransport, da anlægget er med variable ydelse. Det antages, at der benyttes 1200 J/m<sup>3</sup> til indblæsning og udsugning i elforbrug til transport af luften samt at den samlede effektivitet af ventilatorerne er 70 %. Hermed kan tryktabet for indblæsning og udsugning findes til begge at være 840Pa.

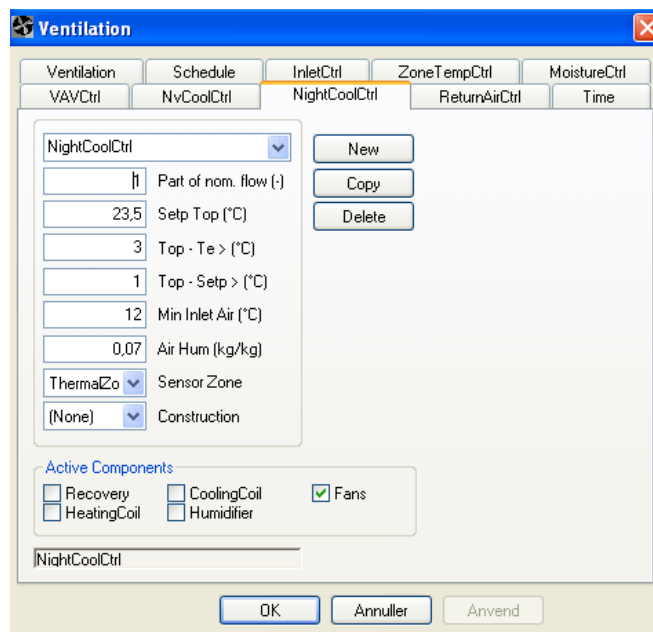
Til opsætning af natkøling anvendes de angivne setpunkter i Tabel 12 i henhold til den pågældende forventningsklasse.

Klasse	Setpunkt [°C]	Tidsangivelse
A	23,5	Uge 21-37, alle dage kl. 0-5
B	23,0	
C	22,0	

**Tabel 12:** Setpunkter for natkøling i afhængighed af forventningsklasse.

Setpunkterne i Tabel 12 er sat som den nedre værdi af den termiske design kriterium jf. [CR 1752, 1998]. Det følger heraf at setpunktet ikke er lavere end den ønskede temperatur i brugstiden, hvorfor der ikke burde være behov for opvarmning ved brugstidens start.

Opsætningen af natkøling i BSim foretages som det er vist i Figur 16.



**Figur 16:** Opsætning af natkøling.

Setpunktet for zonetemperatur,  $T_{op}$ , angiver den temperatur, hvortil den pågældende zone ønskes nedkølet til, når natkøling er aktiv.

Temperaturforskellen mellem zone- og udetemperaturen,  $T_{op} - T_e$ , angiver den mindste forskel mellem den aktuelle zone- og udetemperaturen for at natkølingen vil være i drift. Der anvendes en temperaturforskelle mellem zonen ud udetemperaturen på 3 °C.

Temperaturforskellen mellem den aktuelle zonetemperatur og setpunktstemperatur,  $T_{op} - S_{etp}$ , angiver den mindste forskel for at natkølingen er aktiv i zonen. Ved valg af denne skal det tilladelige sving af de termiske design kriterier ærindres, hvor et sving på  $\pm 1$  °C,  $\pm 1,5$  °C og  $\pm 2,5$  °C er tilladt for henholdsvis forventningsklasse A, B og C. Såfremt den mindste temperaturforskelle mellem zonen og setpunkt er større end 2,5 °C vil natkølingen ikke aktiveres. Det vælges derfor at sætte den mindste temperaturforskelle mellem zonen og setpunktet til 1 °C. Heraf følger det, at natkølingen ikke aktiveres for forventningsklasse A som følge af det tilladte temperatursving. Som følge af større tilladt temperatursving jo lavere forventningsklasse der vælges jo mere aktiv bliver natkølingen ved den valgte temperaturforskelle mellem zonen og setpunktet på 1 °C.

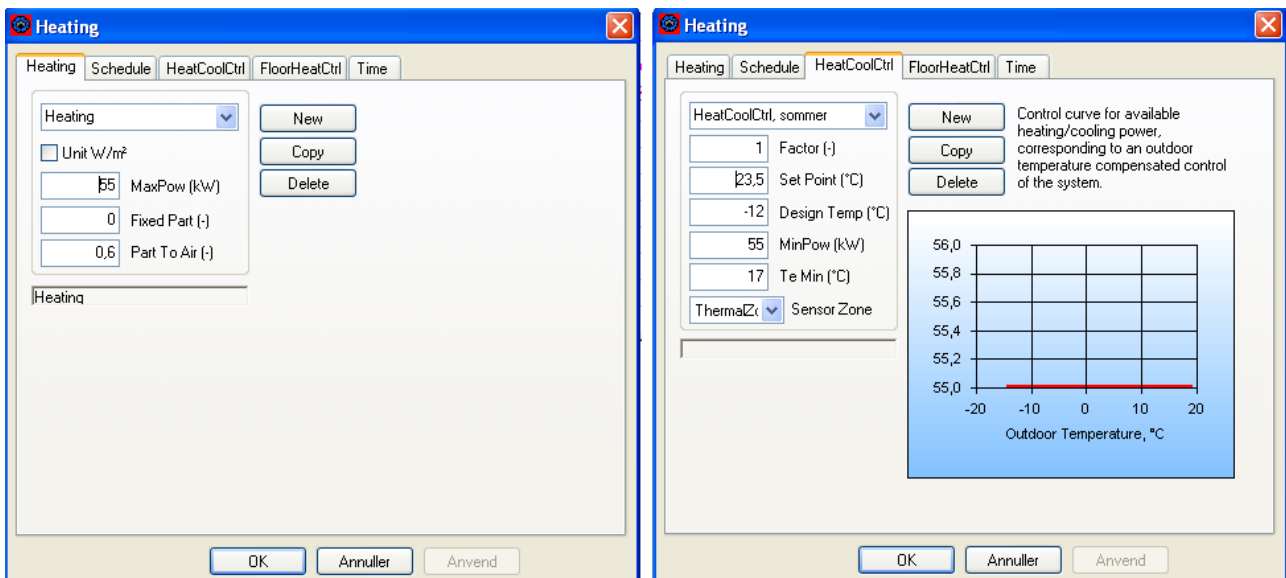
## Opvarmning

Uden for brugstiden hvor ventilationsanlægget ikke er aktiv opsættes et varmeanlæg til at opretholde den termiske komfort. De termiske design kriterier jf. [CR 1752, 1998] anvendes som setpunkter for varmeanlægget. Opsætning af systemet samt reguleringen deraf er listet i Tabel 13.

System	Beskrivelse	Klasse	Sæson	Setpunkt [°C]	Tidsangivelse
Opvarmning	MaxPow 55kW Fixed Part 0 Part to air 0,6	A	Sommer	23,5	Lørdage kl. 0-8 og kl. 17-24
					søndage, alle timer
					Hverdage kl. 0-7
			Vinter	21,0	Lørdage kl. 0-8 og kl. 17-24
					søndage, alle timer
					Hverdage kl. 0-7
		B	Sommer	23,0	Lørdage kl. 0-8 og kl. 17-24
					søndage, alle timer
					Hverdage kl. 0-7
			Vinter	20,0	Lørdage kl. 0-8 og kl. 17-24
					søndage, alle timer
					Hverdage kl. 0-7
C	Sommer	22,0	Lørdage kl. 0-8 og kl. 17-24		
			søndage, alle timer		
			Hverdage kl. 0-7		
	Vinter	19,0	Lørdage kl. 0-8 og kl. 17-24		
			søndage, alle timer		
			Hverdage kl. 0-7		

**Tabel 13:** Opsætning for varmesystemet for BETA bygningerne.

Systemopsætningen af varmeanlægget i BSim kan ses på Figur 17.



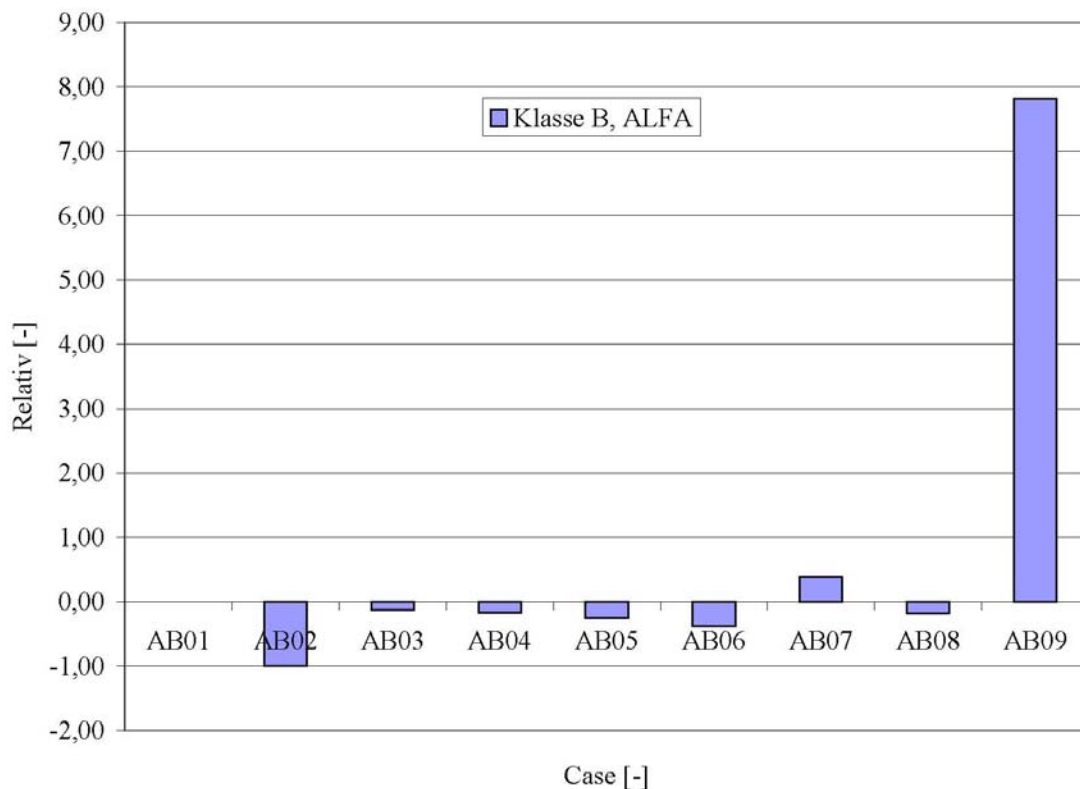
**Figur 17:** Opsætning af varmesystem for BETA bygning forventningsklasse A, sommer.

## E. Energiforbrug

I det følgende bilag kan resultater vedrørende det forventede totale energiforbrug findes for ALFA- og BETA-bygningen for forventningsklasse B og C. Endvidere kan mere specifikt delforbrug som energiforbrug til opvarmning i afhængighed af parametervariation i afhængighed af forventningsklasse findes. I Tabel 14 kan en oversigt over figurerne vedrørende det forventede energiforbrug ses.

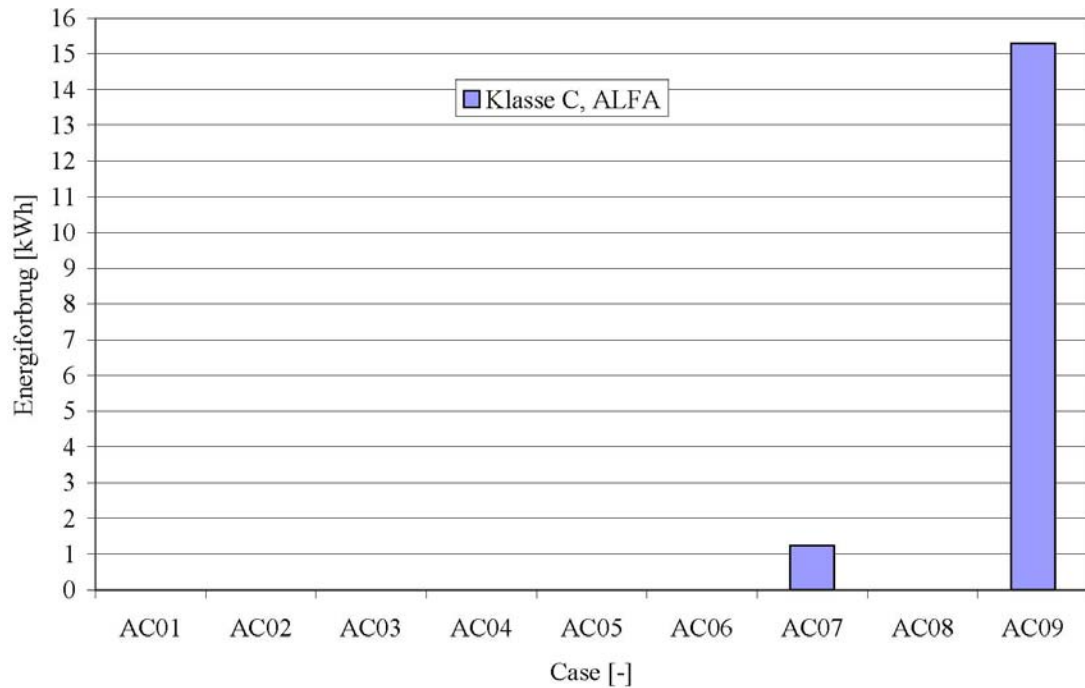
Figur 12: Relativ ændring af varmebehov ift. parametervariation for ALFA-bygning klasse B.
Figur 13: Energiforbrug til opvarmning for ALFA-bygning klasse C.
Figur 14: Relativ ændring af energiforbrug til belysning ift. parametervariation for BETA-bygningerne 4, 5, 8 og 9 klasse A, B og C.
Figur 15: Relativ ændring af varmekonsumet ift. parametervariation for BETA-bygning klasse B.
Figur 16: Relativ ændring af varmekonsumet ift. parametervariation for BETA-bygning klasse C.

**Tabel 14:** Oversigt over figurer vedrørende det forventede energiforbrug.

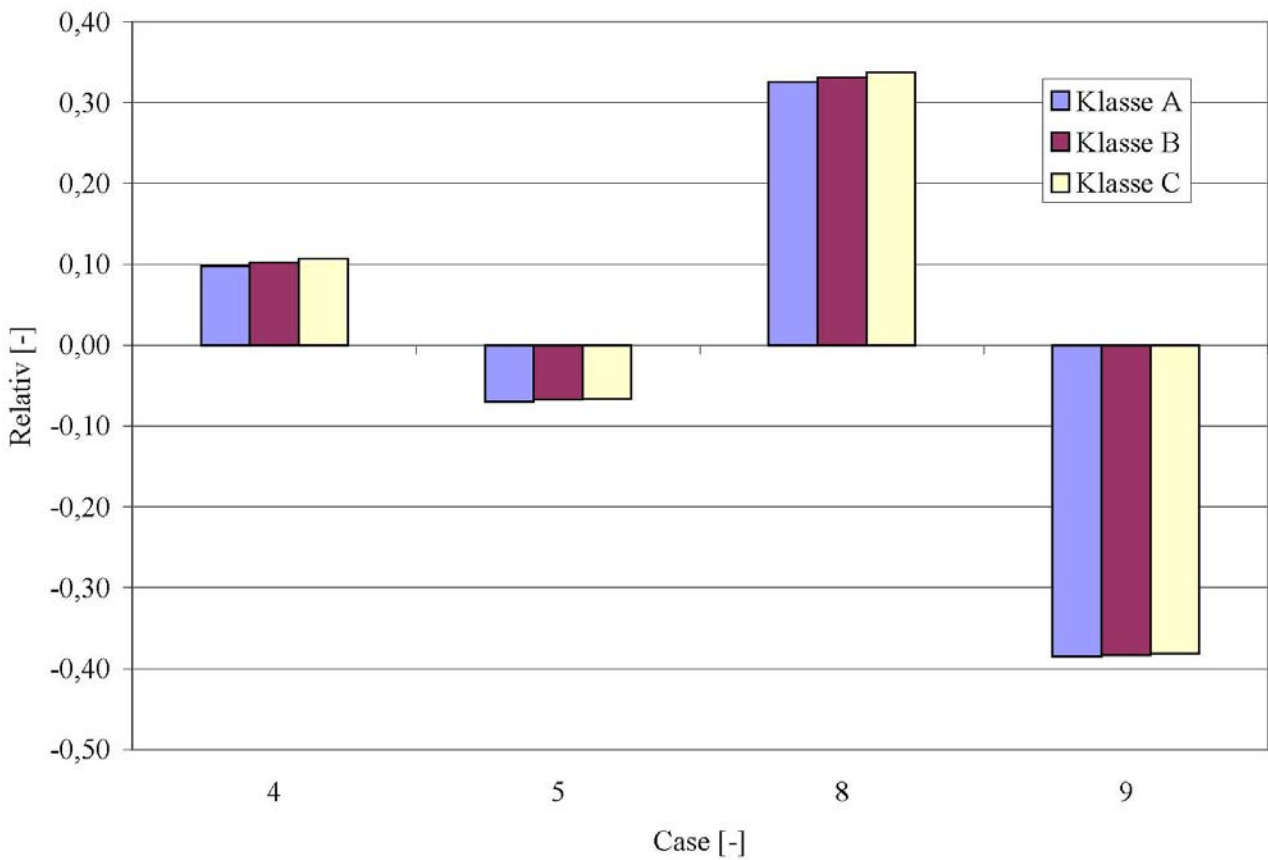


**Figur 18:** Relativ ændring af varmebehov ift. parametervariation for ALFA-bygning klasse B.

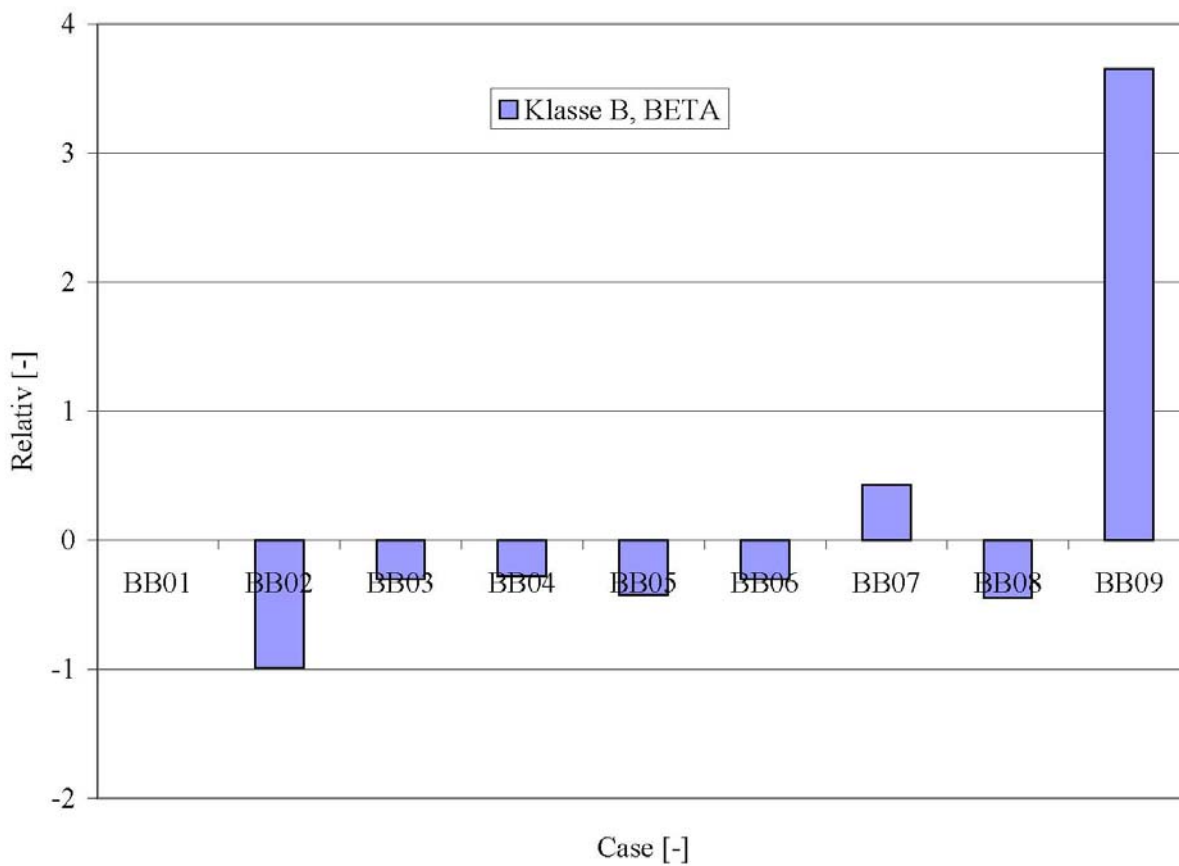




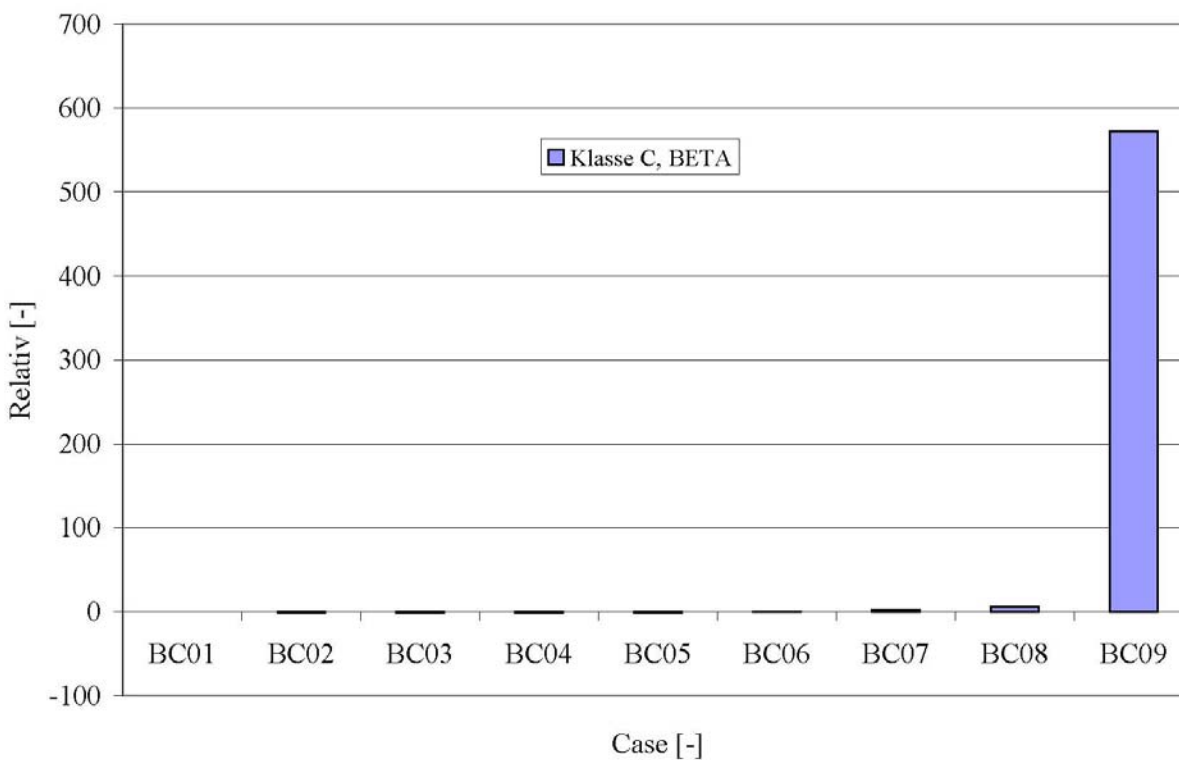
**Figur 19:** Energiforbrug til opvarmning for ALFA-bygning klasse C.



**Figur 20:** Relativ ændring af energiforbrug til belysning ift. parametervariation for BETA-bygningerne 4, 5, 8 og 9 klasse A, B og C.



**Figur 21:** Relativ ændring af varmeforbruget ift. parametervariation for BETA-bygning klasse B.



**Figur 22:** Relativ ændring af varmeforbruget ift. parametervariation for BETA-bygning klasse C.

## F. Termisk indeklima

I det følgende bilag kan resultater vedrørende det termiske indeklima fundet fra BSim simuleringerne findes. Det være sig temperaturprofiler for den operative temperatur samt varighedskurver. I Tabel 15 kan en figurliste af figurerne for det forventede termiske indeklima ses.

Figur 17: Temperaturprofil for d. 13. juli for forventningsklasse B, ALFA-bygning. Nedre og øvre operativ temperatur henholdsvis 23 °C og 26 °C.
Figur 18: Temperaturprofil for d. 13. juli for forventningsklasse C, ALFA-bygning. Nedre og øvre operativ temperatur henholdsvis 22 °C og 27 °C.
Figur 19: Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse A om sommeren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 23,5 °C og 25,5 °C.
Figur 20: Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse B om sommeren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 23 °C og 26 °C.
Figur 21: Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse C om sommeren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 22 °C og 27 °C.
Figur 22: Temperaturprofil for d. 29. november for forventningsklasse B, ALFA-bygning. Nedre og øvre operativ temperatur henholdsvis 20 °C og 22 °C.
Figur 23: Temperaturprofil for d. 29. november for forventningsklasse C, ALFA-bygning. Nedre og øvre operativ temperatur henholdsvis 19 °C og 25 °C.
Figur 24: Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse A om vinteren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 21 °C og 23 °C.
Figur 25: Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse B om vinteren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 20 °C og 24 °C.
Figur 26: Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse C om vinteren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 29 °C og 25 °C.
Figur 27: Temperaturprofil for d. 12. juli for forventningsklasse B, BETA-bygning. Nedre og øvre operativ temperatur henholdsvis 23 °C og 26 °C.
Figur 28: Temperaturprofil for d. 12. juli for forventningsklasse C, BETA-bygning. Nedre og øvre operativ temperatur henholdsvis 22 °C og 27 °C.
Figur 29: Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse A om sommeren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 23,5 °C og 25,5 °C.
Figur 30: Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse B om sommeren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 23 °C og 26 °C.
Figur 31: Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse C om sommeren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 22 °C og 27 °C.
Figur 32: Temperaturprofil for d. 29. november for forventningsklasse B, BETA-bygning. Nedre og øvre operativ temperatur henholdsvis 20 °C og 24 °C.
Figur 33: Temperaturprofil for d. 29. november for forventningsklasse C, BETA-bygning. Nedre og øvre operativ temperatur henholdsvis 19 °C og 25 °C.
Figur 34: Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse A om vinteren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 21 °C og 23 °C.
Figur 35: Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse B om vinteren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 20 °C og 24 °C.
Figur 36: Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse C om vinteren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 19 °C og 25 °C.

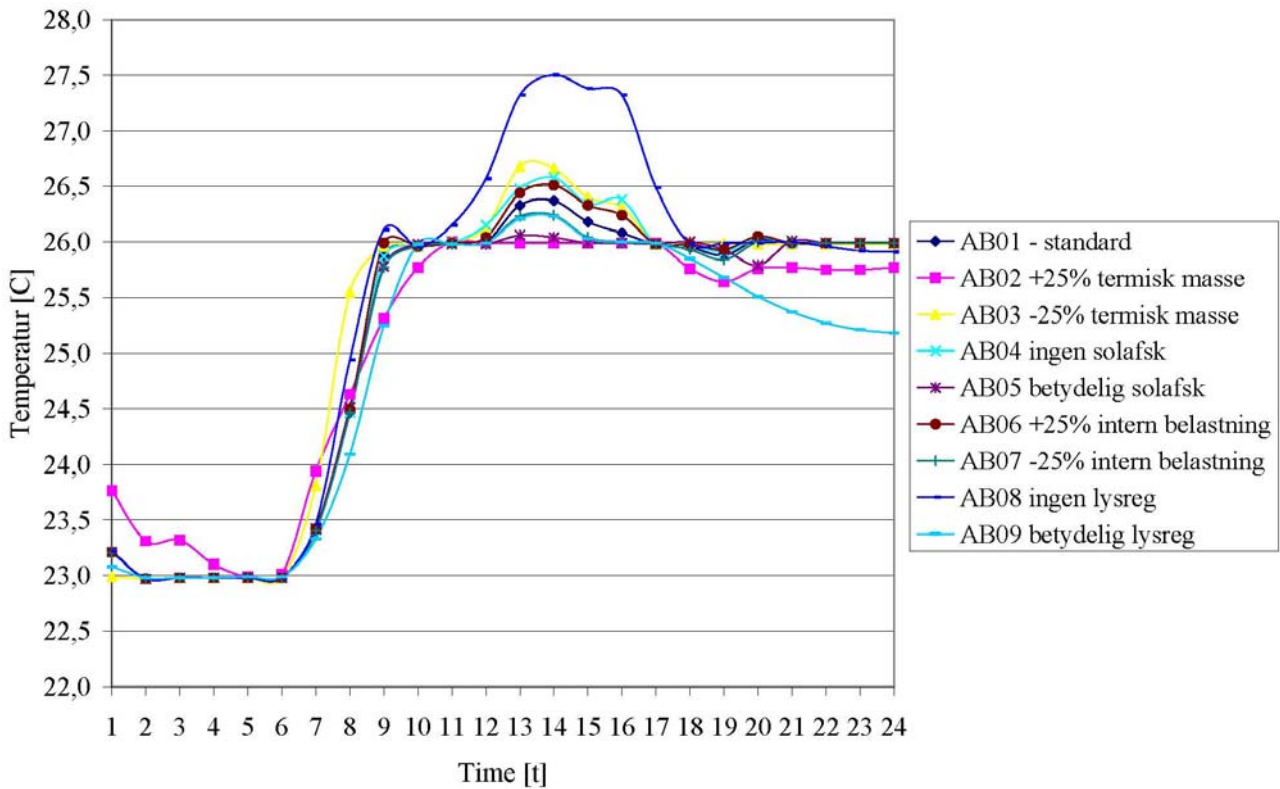
**Tabel 15:** Figuroversigt for det forventede termiske indeklima.

<b>Klasse A</b>	<b>AA01</b>	<b>AA02</b>	<b>AA03</b>	<b>AA04</b>	<b>AA05</b>	<b>AA06</b>	<b>AA07</b>	<b>AA08</b>	<b>AA09</b>
Timer > 26	89	43	110	98	76	102	80	157	74
Timer > 27	37	1	61	48	24	48	35	81	28
	<b>BA01</b>	<b>BA02</b>	<b>BA03</b>	<b>BA04</b>	<b>BA05</b>	<b>BA06</b>	<b>BA07</b>	<b>BA08</b>	<b>BA09</b>
Timer > 26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Timer > 27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Klasse B</b>	<b>AB01</b>	<b>AB02</b>	<b>AB03</b>	<b>AB04</b>	<b>AB05</b>	<b>AB06</b>	<b>AB07</b>	<b>AB08</b>	<b>AB09</b>
Timer > 26	173	49	253	191	156	193	169	231	114
Timer > 27	43	0	68	54	27	53	36	90	30
	<b>BB01</b>	<b>BB02</b>	<b>BB03</b>	<b>BB04</b>	<b>BB05</b>	<b>BB06</b>	<b>BB07</b>	<b>BB08</b>	<b>BB09</b>
Timer > 26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Timer > 27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Klasse C</b>	<b>AC01</b>	<b>AC02</b>	<b>AC03</b>	<b>AC04</b>	<b>AC05</b>	<b>AC06</b>	<b>AC07</b>	<b>AC08</b>	<b>AC09</b>
Timer > 26	1090	31	1444	1175	1093	1232	1092	1061	603
Timer > 27	101	0	110	98	96	114	90	156	53
	<b>BC01</b>	<b>BC02</b>	<b>BC03</b>	<b>BC04</b>	<b>BC05</b>	<b>BC06</b>	<b>BC07</b>	<b>BC08</b>	<b>BC09</b>
Timer > 26	1126	1323	1427	1228	1170	1224	956	1150	391
Timer > 27	0	0	1	0	0	0	0	0	0

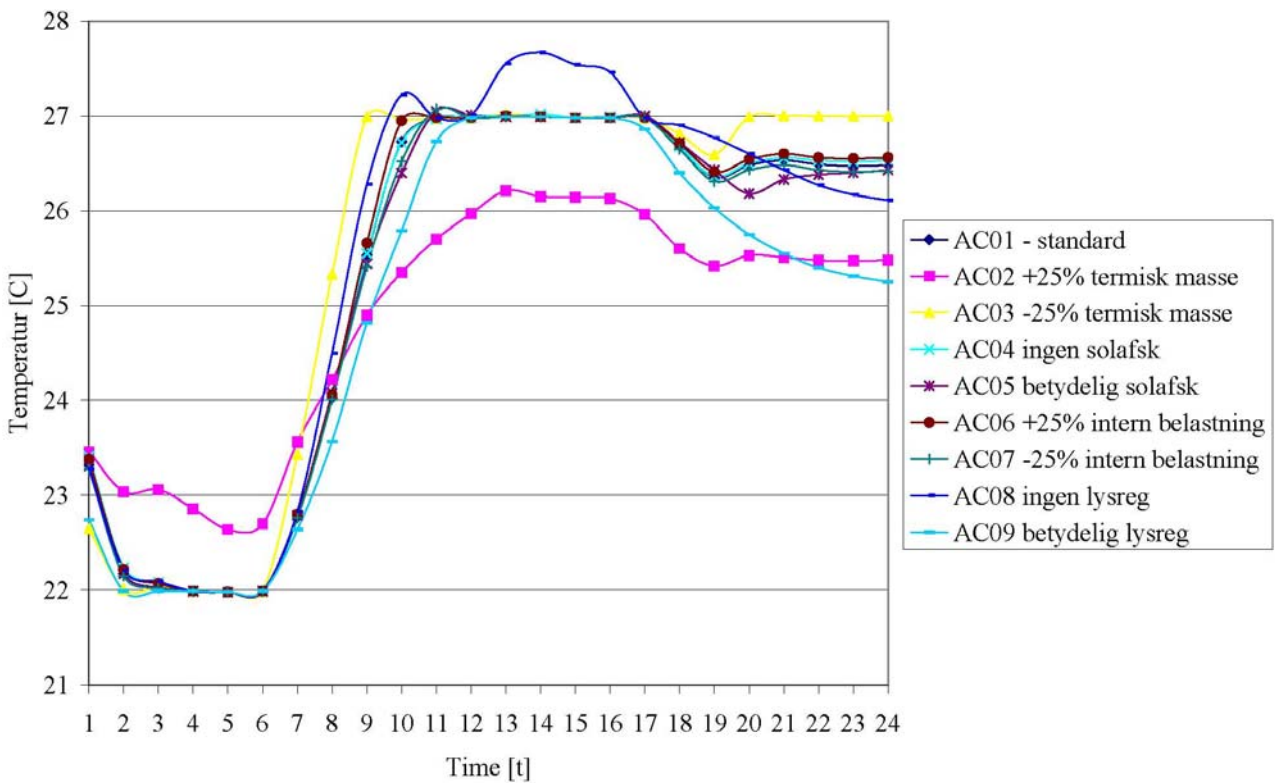
**Tabel 16:** Antal timer hvor den operative temperatur henholdsvis overskrider 26 °C og 27 °C.

<b>Klasse A</b>	<b>AA01</b>	<b>AA02</b>	<b>AA03</b>	<b>AA04</b>	<b>AA05</b>	<b>AA06</b>	<b>AA07</b>	<b>AA08</b>	<b>AA09</b>
Timer > 26	77	27	96	91	59	87	73	134	62
Timer > 27	33	0	49	39	19	37	30	74	22
	<b>BA01</b>	<b>BA02</b>	<b>BA03</b>	<b>BA04</b>	<b>BA05</b>	<b>BA06</b>	<b>BA07</b>	<b>BA08</b>	<b>BA09</b>
Timer > 26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Timer > 27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Klasse B</b>	<b>AB01</b>	<b>AB02</b>	<b>AB03</b>	<b>AB04</b>	<b>AB05</b>	<b>AB06</b>	<b>AB07</b>	<b>AB08</b>	<b>AB09</b>
Timer > 26	92	21	154	100	75	105	82	155	72
Timer > 27	36	0	57	43	21	41	32	80	24
	<b>BB01</b>	<b>BB02</b>	<b>BB03</b>	<b>BB04</b>	<b>BB05</b>	<b>BB06</b>	<b>BB07</b>	<b>BB08</b>	<b>BB09</b>
Timer > 26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Timer > 27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Klasse C</b>	<b>AC01</b>	<b>AC02</b>	<b>AC03</b>	<b>AC04</b>	<b>AC05</b>	<b>AC06</b>	<b>AC07</b>	<b>AC08</b>	<b>AC09</b>
Timer > 26	909	9	1356	1000	920	1067	901	953	525
Timer > 27	41	0	71	48	23	51	33	95	24
	<b>BC01</b>	<b>BC02</b>	<b>BC03</b>	<b>BC04</b>	<b>BC05</b>	<b>BC06</b>	<b>BC07</b>	<b>BC08</b>	<b>BC09</b>
Timer > 26	919	1247	1340	1048	925	1058	726	991	236
Timer > 27	0	0	0	0	0	0	0	0	0

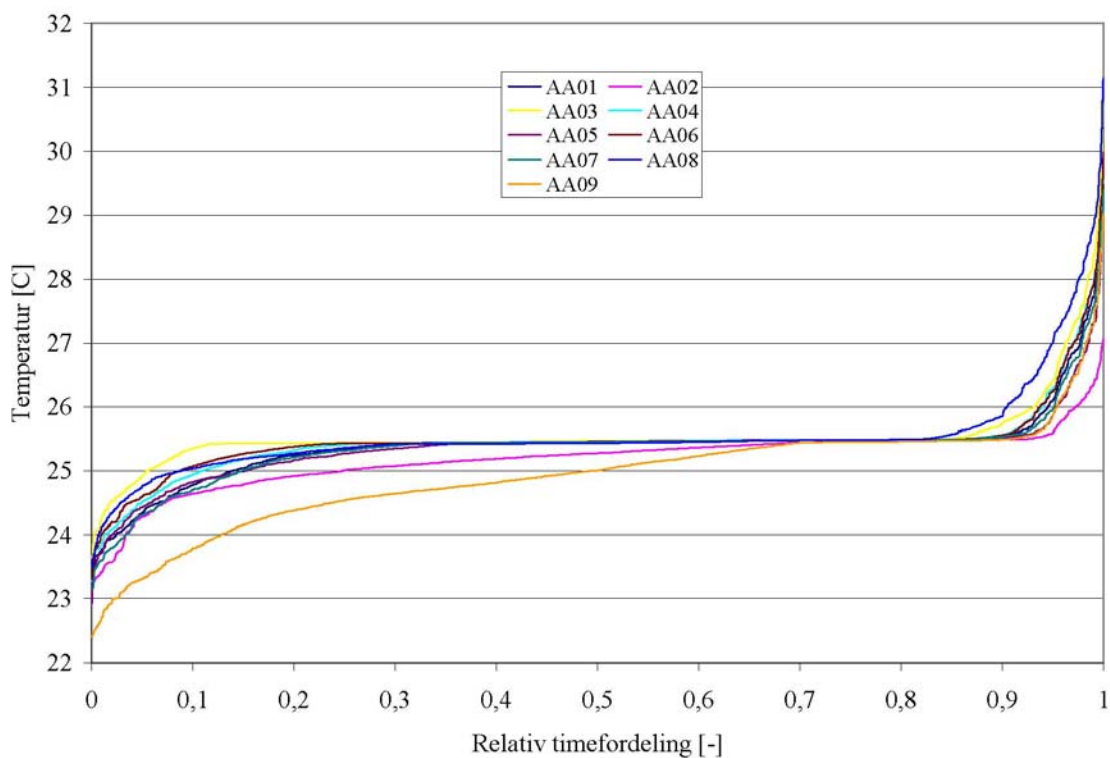
**Tabel 17:** Antal timer hvor den operative temperatur henholdsvis overskrider 26,2 °C og 27,2 °C.



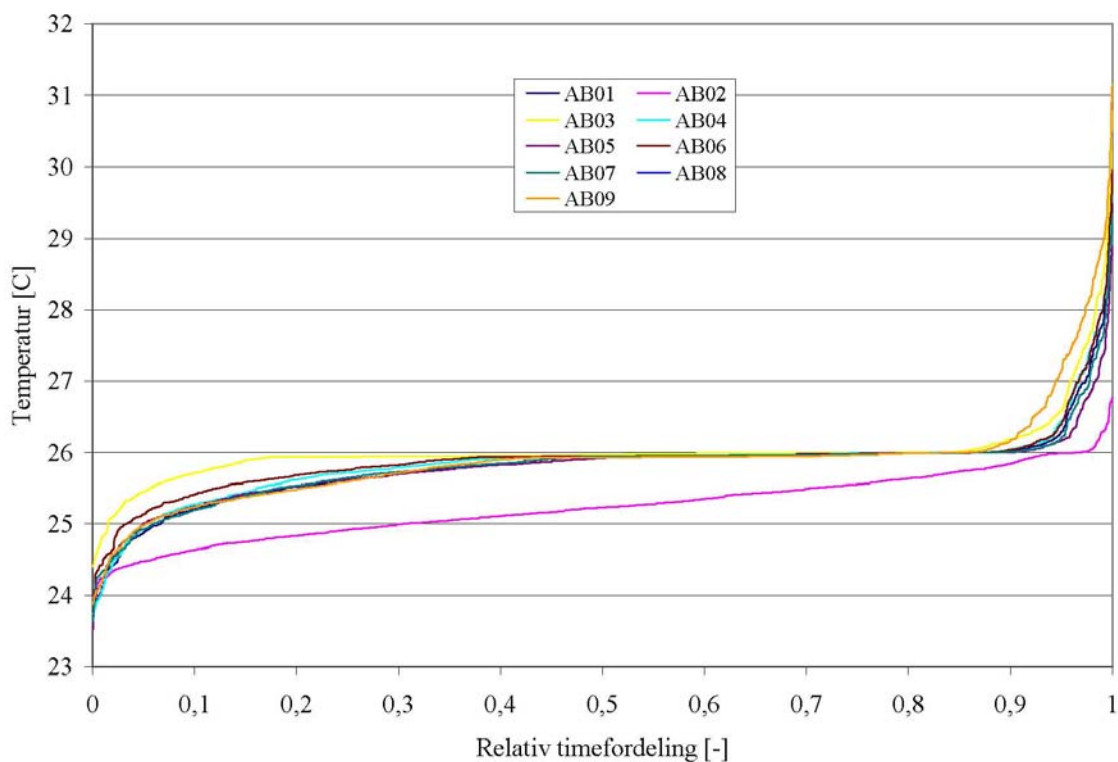
**Figur 23:** Temperaturprofil for d. 13. juli for forventningsklasse B, ALFA-bygning. Nedre og øvre operativ temperatur henholdsvis 23 °C og 26 °C.



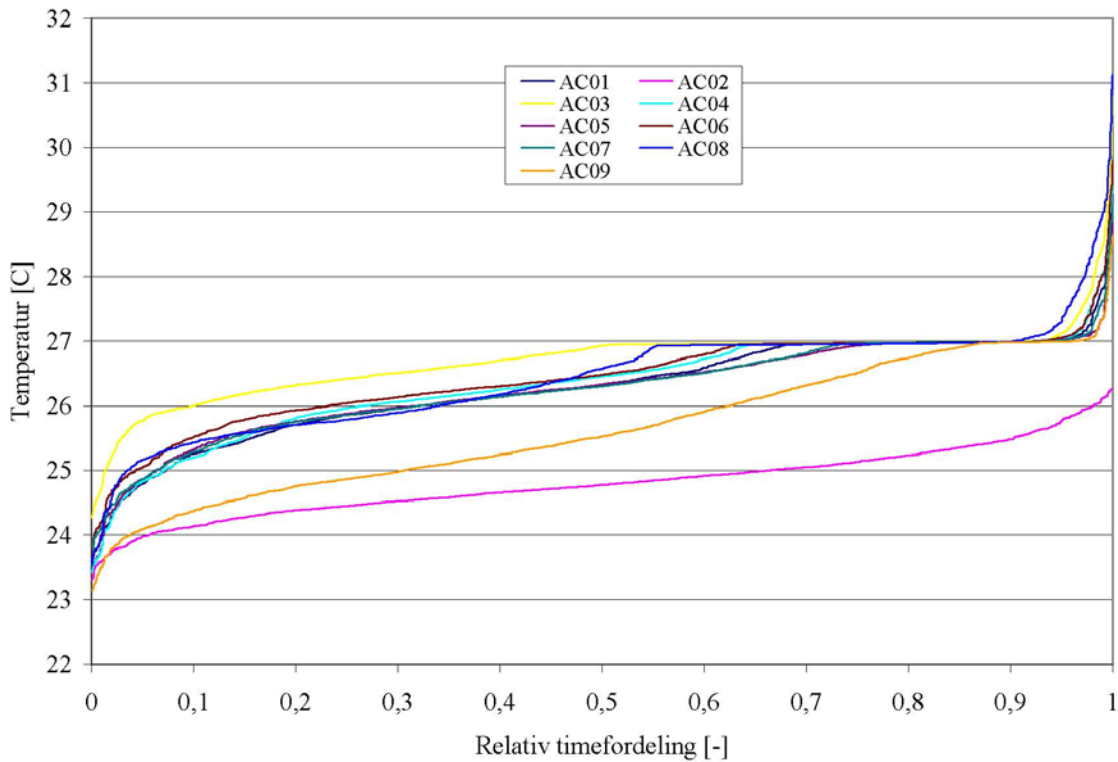
**Figur 24:** Temperaturprofil for d. 13. juli for forventningsklasse C, ALFA-bygning. Nedre og øvre operativ temperatur henholdsvis 22 °C og 27 °C.



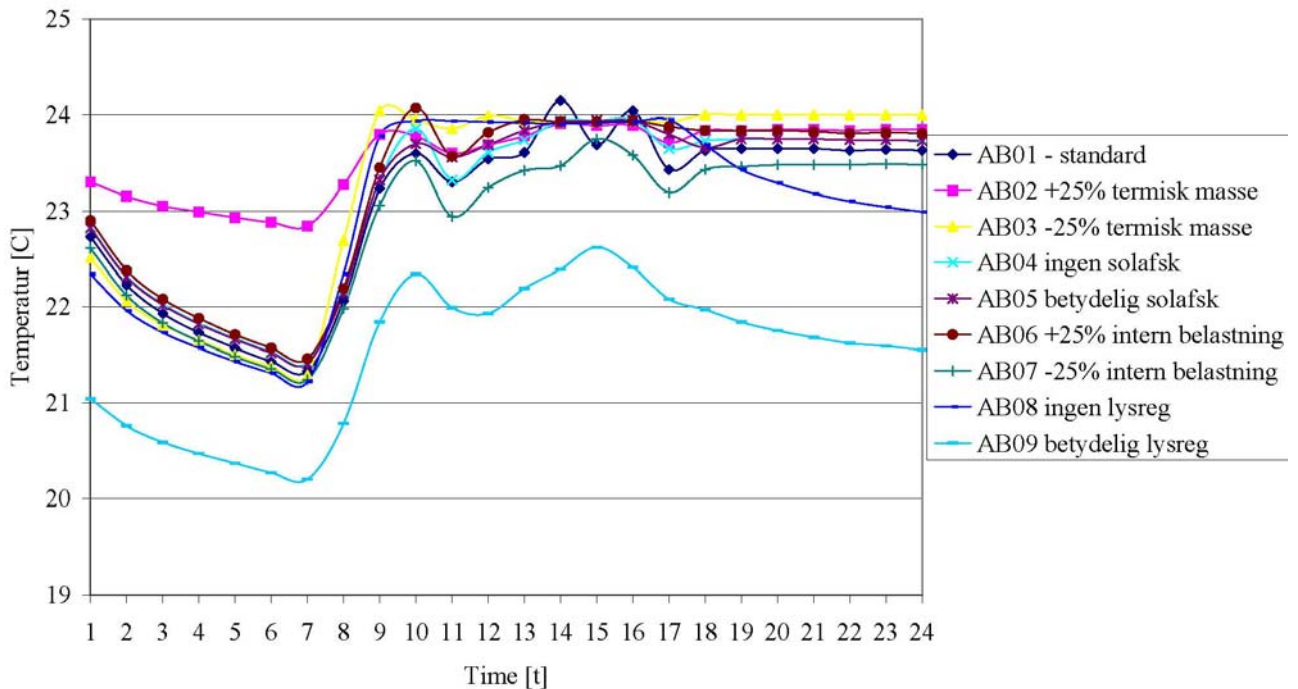
**Figur 25:** Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse A om sommeren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 23,5 °C og 25,5 °C.



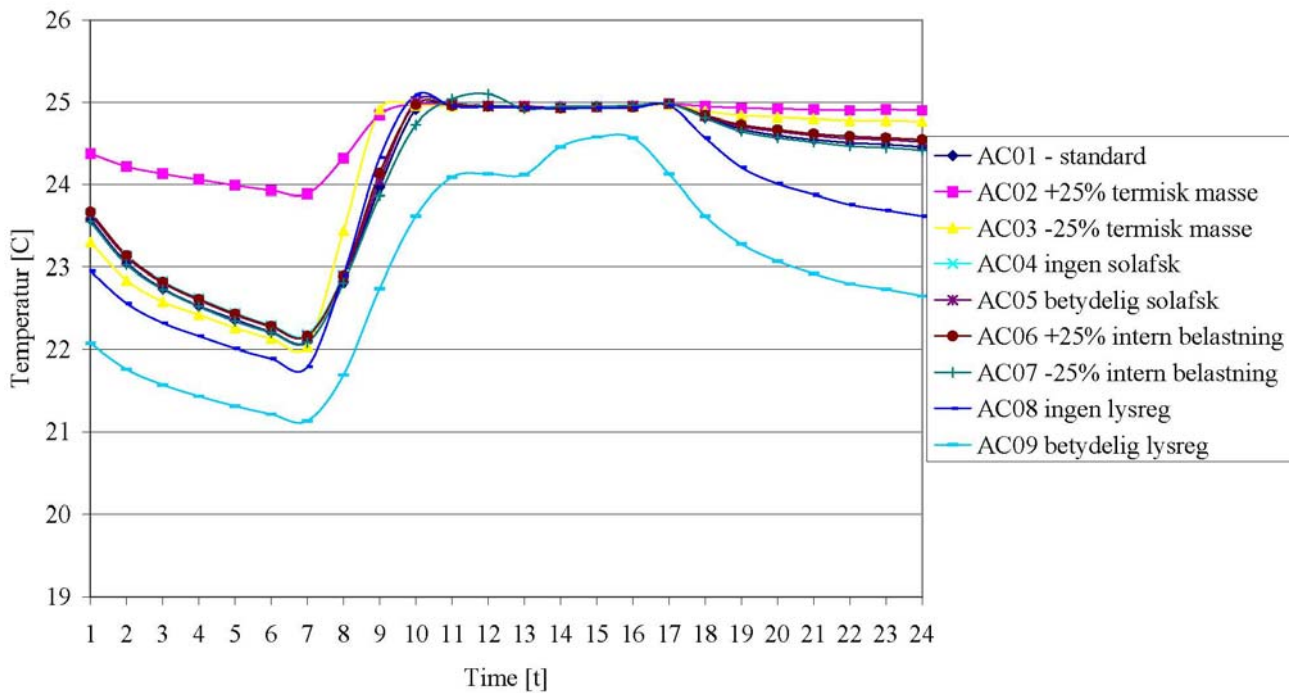
**Figur 26:** Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse B om sommeren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 23 °C og 26 °C.



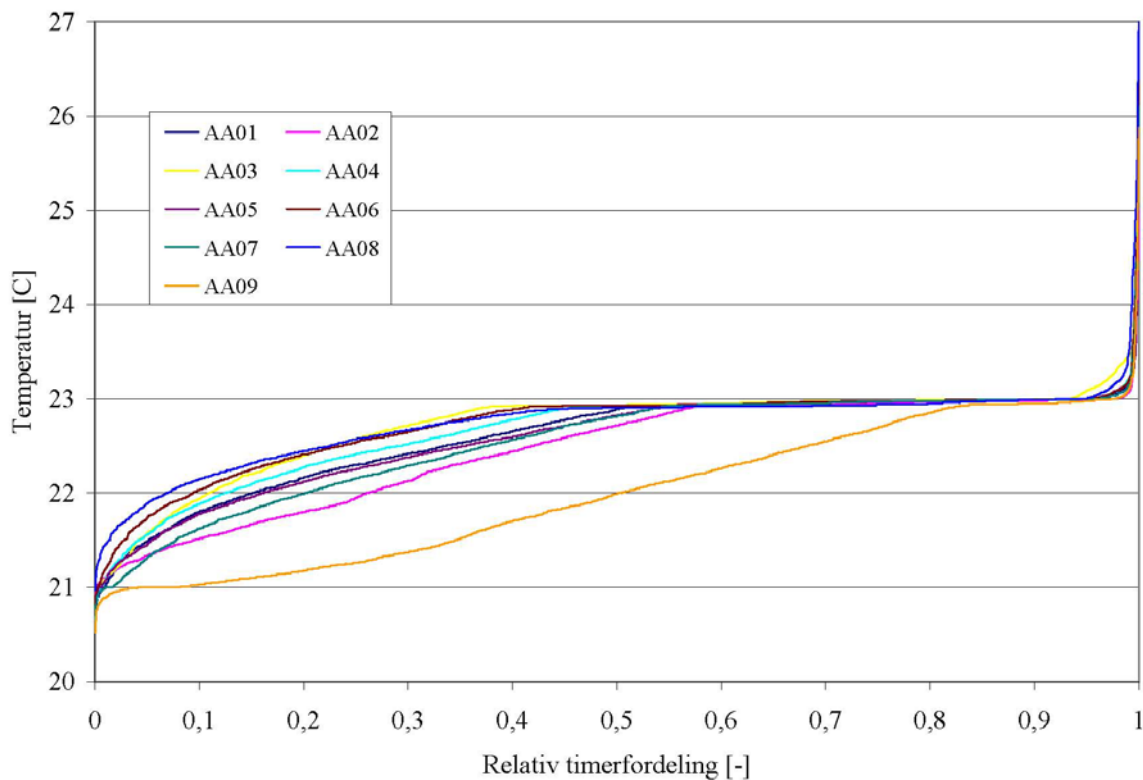
**Figur 27:** Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse C om sommeren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 22 °C og 27 °C.



**Figur 28:** Temperaturprofil for d. 29. november for forventningsklasse B, ALFA-bygning. Nedre og øvre operative temperatur henholdsvis 20 °C og 22 °C.

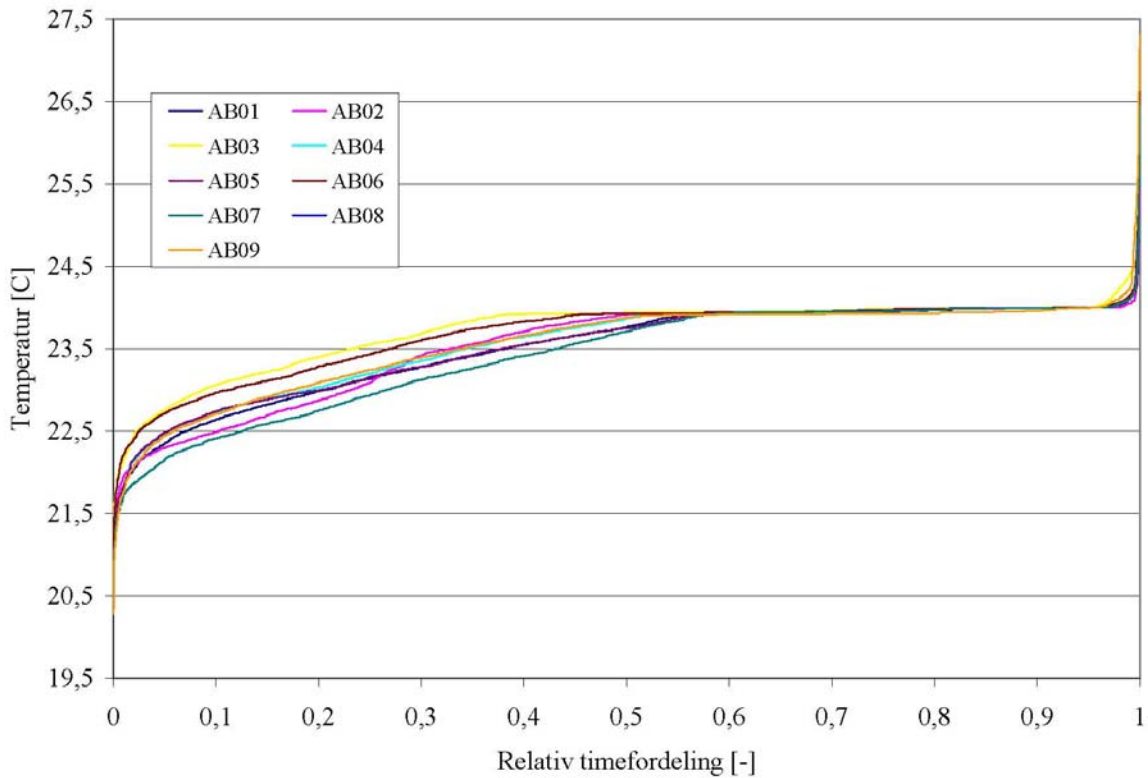


**Figur 29:** Temperaturprofil for d. 29. november for forventningsklasse C, ALFA-bygning. Nedre og øvre operativ temperatur henholdsvis 19 °C og 25 °C.

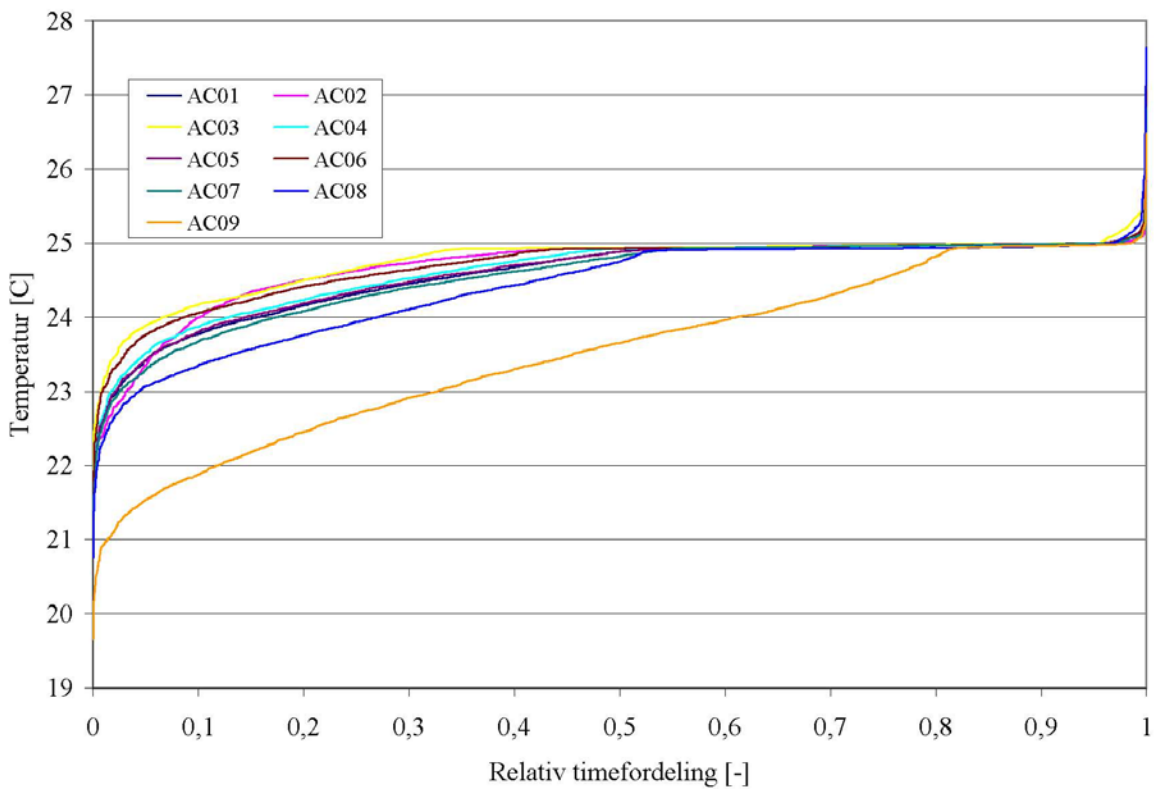


**Figur 30:** Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse A om vinteren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 21 °C og 23 °C.

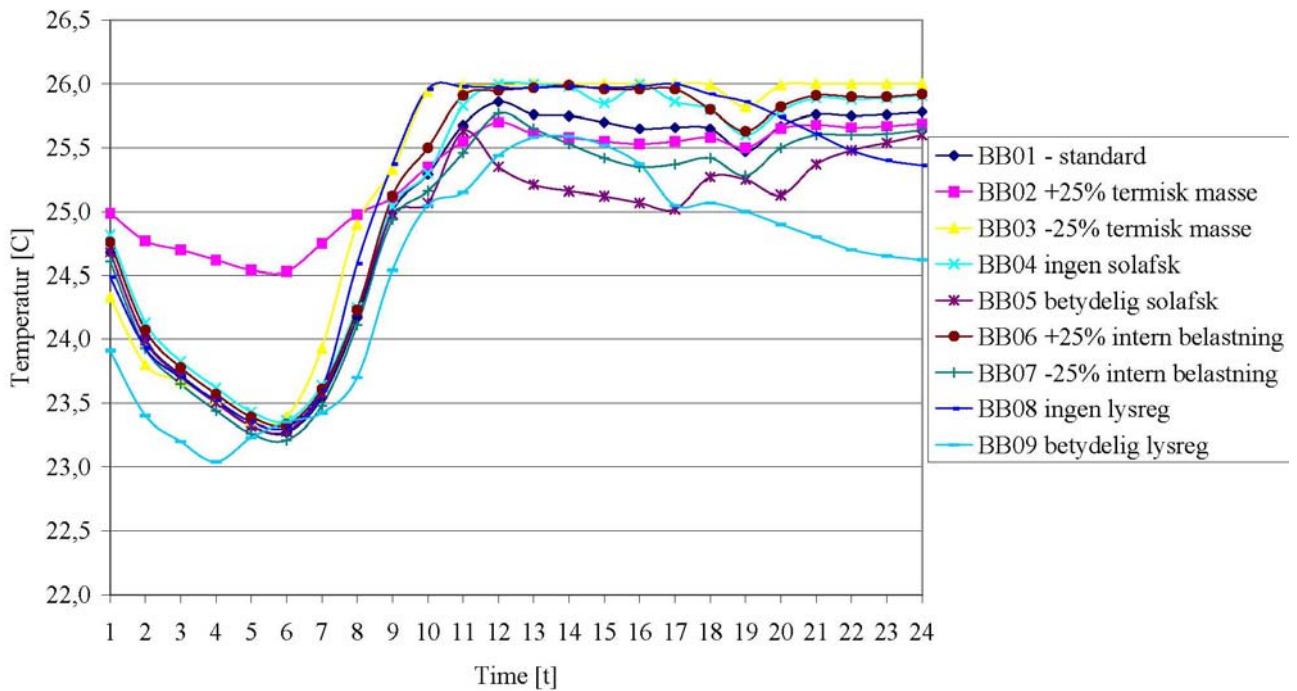




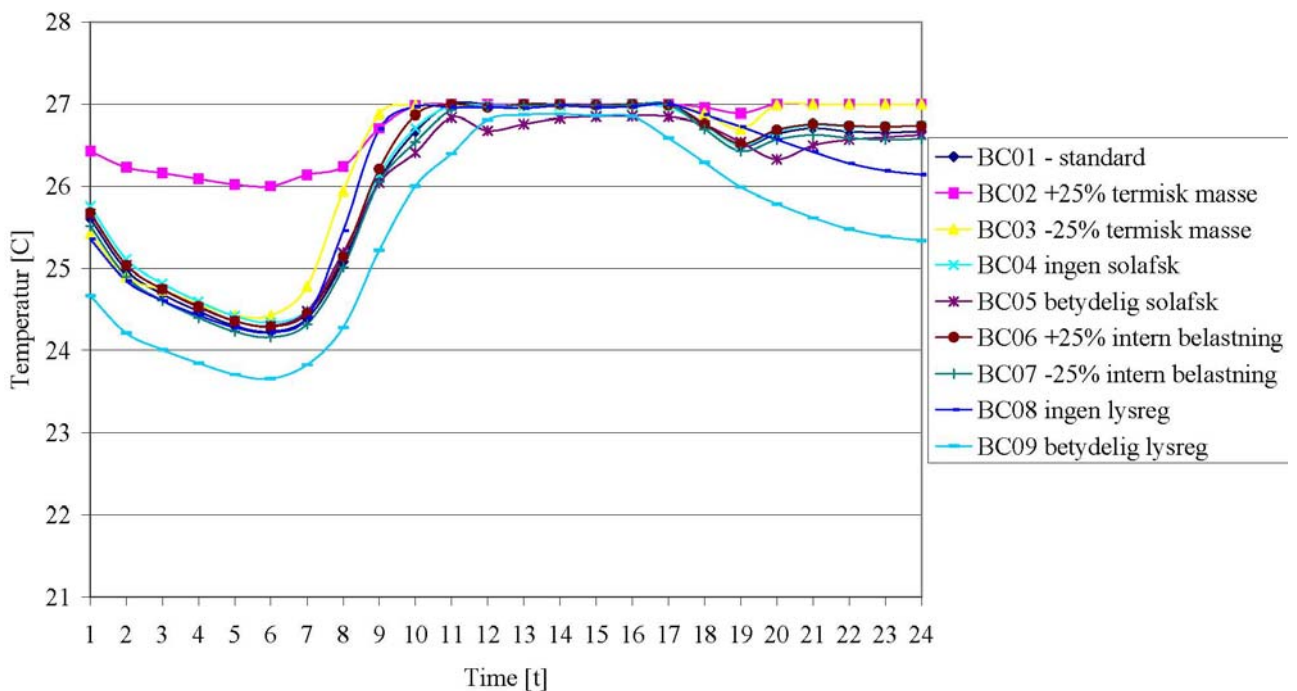
**Figur 31:** Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse B om vinteren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 20 °C og 24 °C.



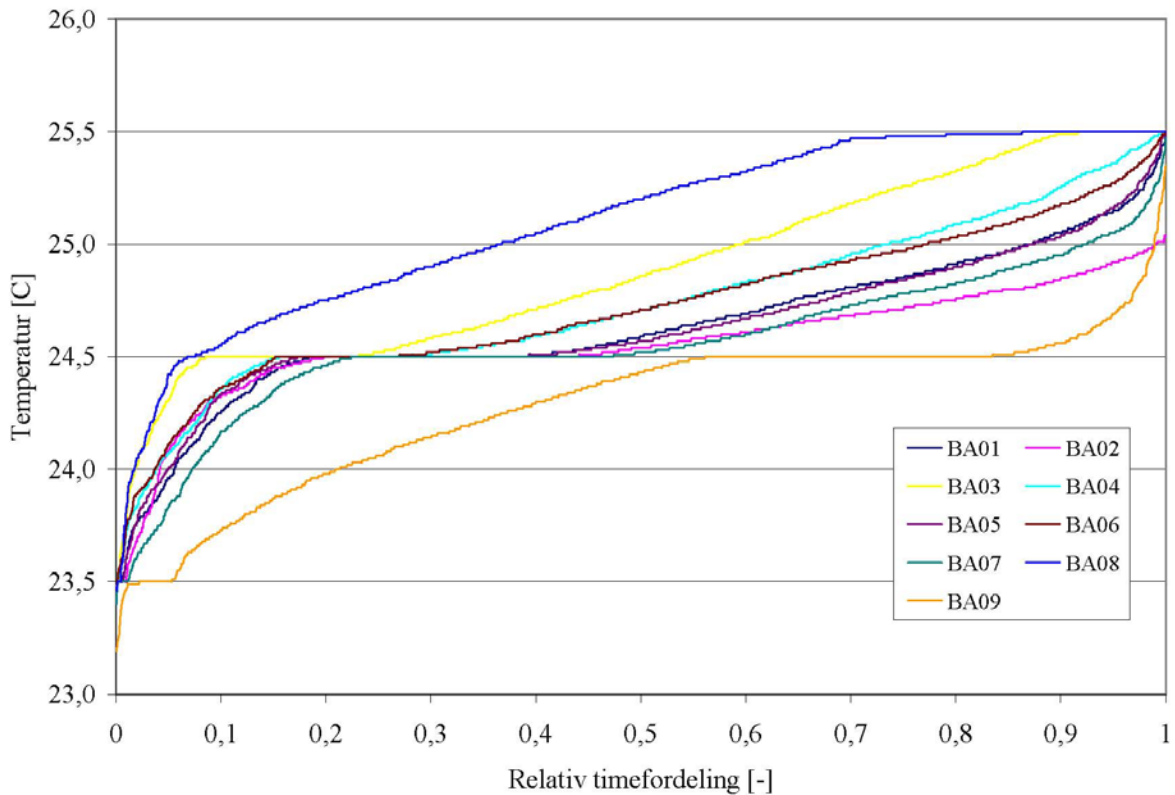
**Figur 32:** Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse C om vinteren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 29 °C og 25 °C.



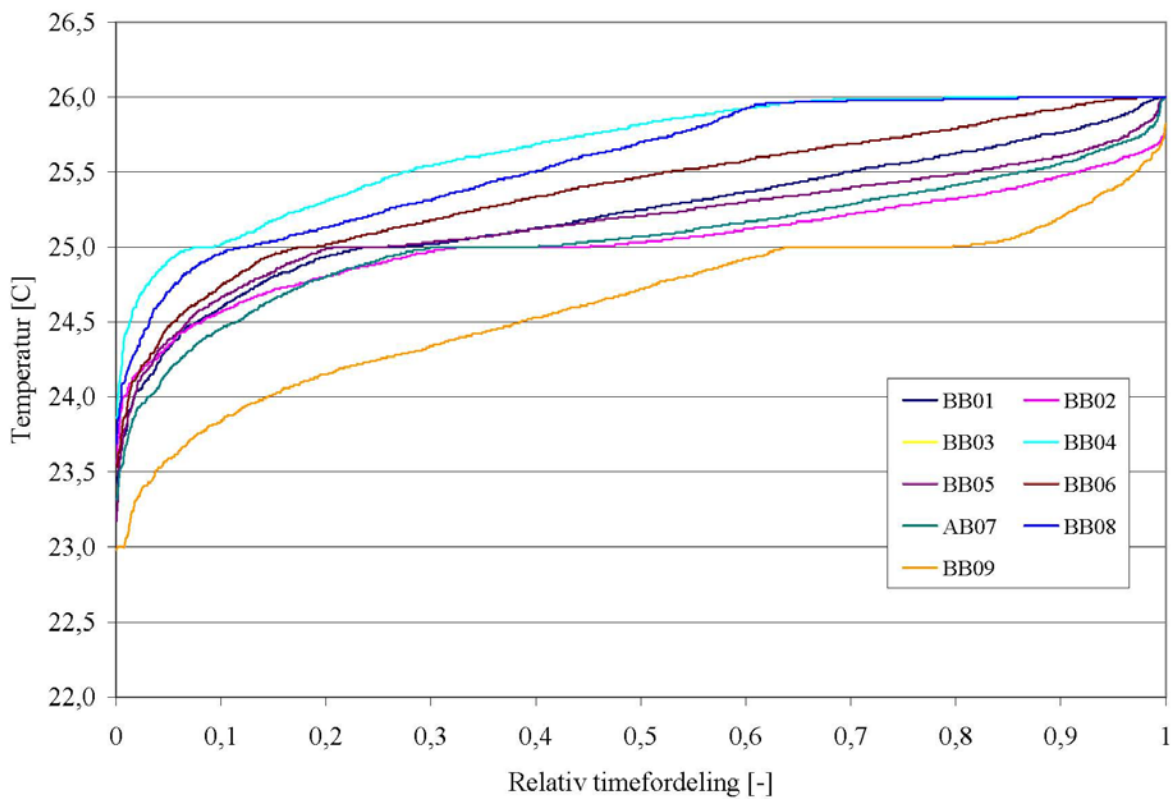
**Figur 33:** Temperaturprofil for d. 12. juli for forventningsklasse B, BETA-bygning. Nedre og øvre operativ temperatur henholdsvis 23 °C og 26 °C.



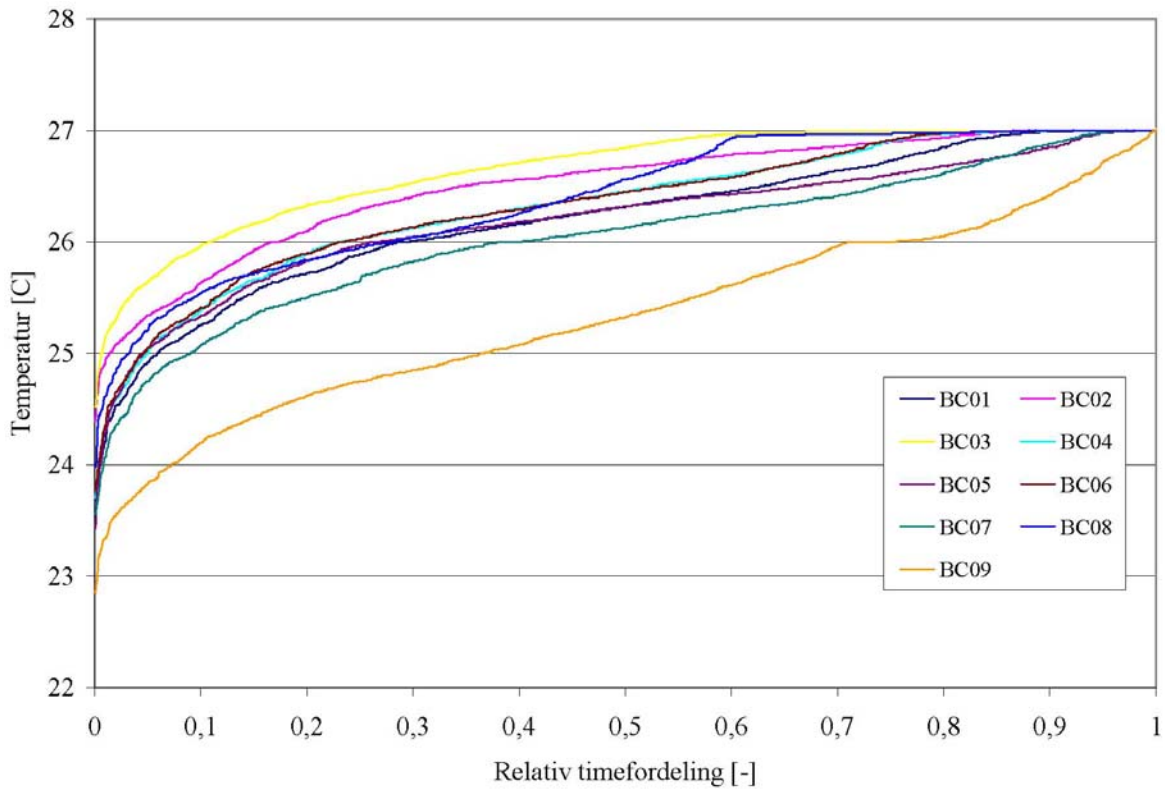
**Figur 34:** Temperaturprofil for d. 12. juli for forventningsklasse C, BETA-bygning. Nedre og øvre operativ temperatur henholdsvis 22 °C og 27 °C.



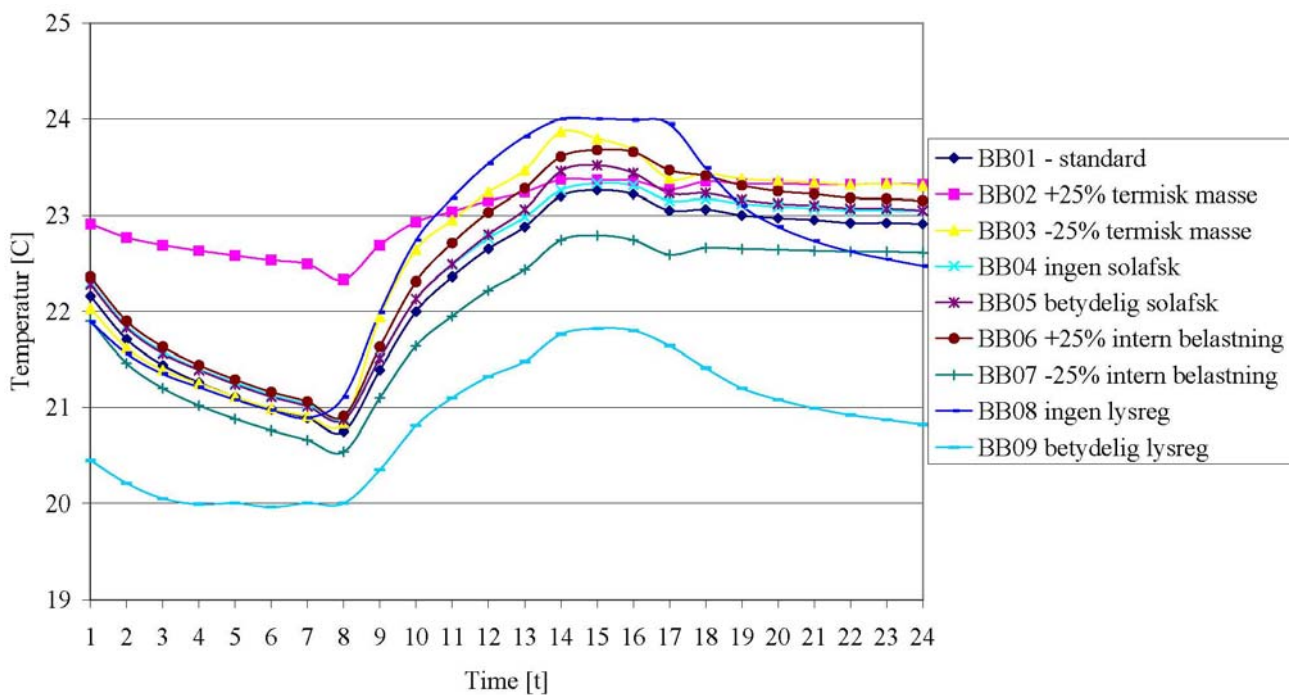
**Figur 35:** Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse A om sommeren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 23,5 °C og 25,5 °C.



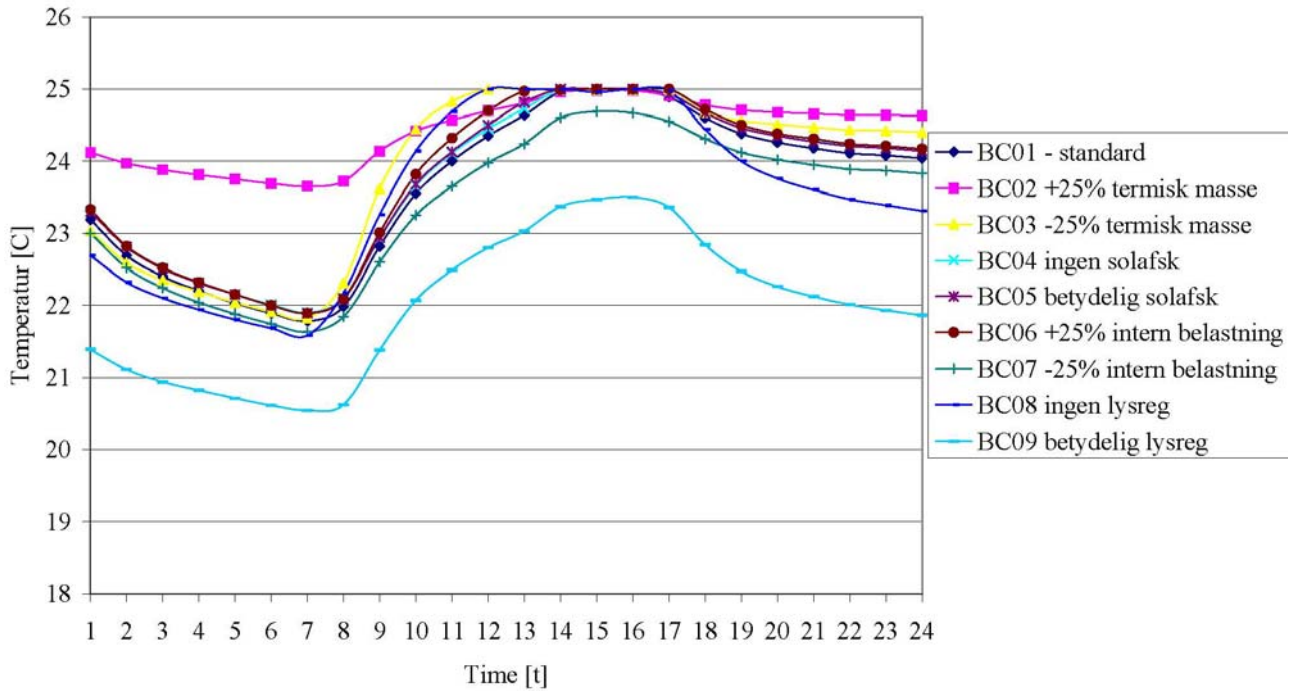
**Figur 36:** Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse B om sommeren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 23 °C og 26 °C.



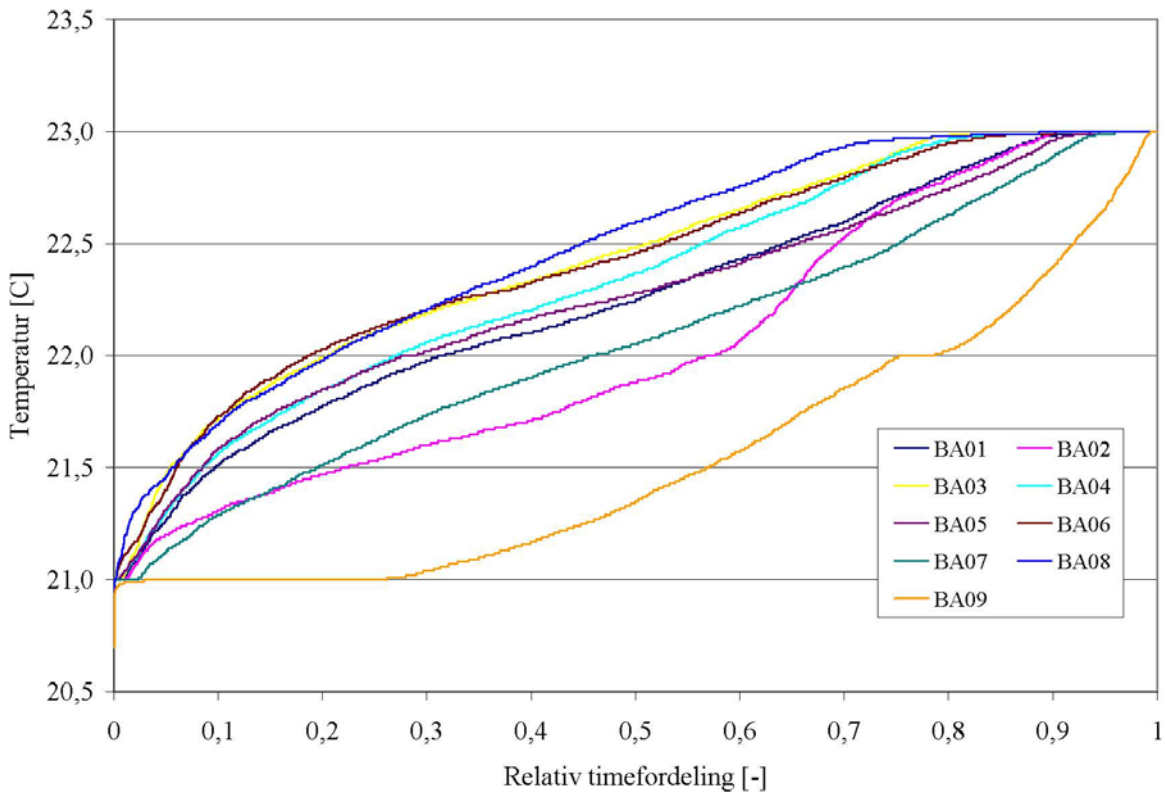
**Figur 37:** Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse C om sommeren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 22 °C og 27 °C.



**Figur 38:** Temperaturprofil for d. 29. november for forventningsklasse B, BETA-bygning. Nedre og øvre operative temperatur henholdsvis 20 °C og 24 °C.

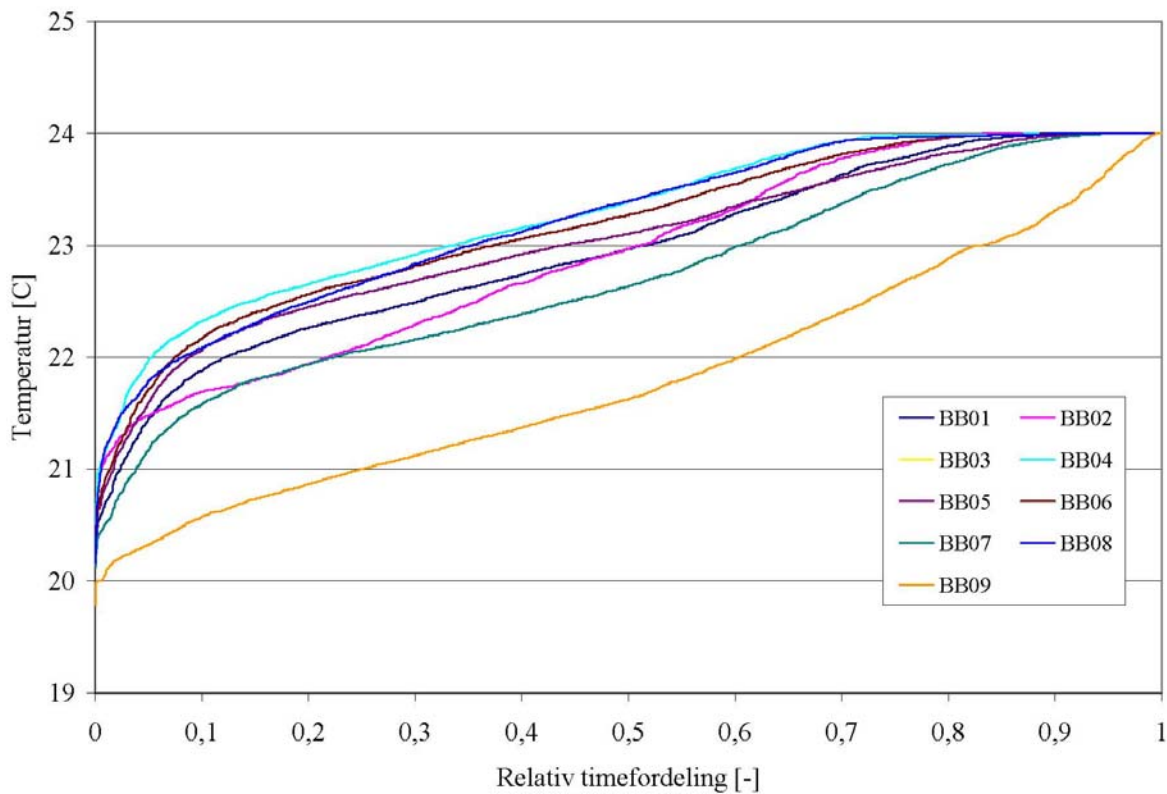


**Figur 39:** Temperaturprofil for d. 29. november for forventningsklasse C, BETA-bygning. Nedre og øvre operative temperatur henholdsvis 19 °C og 25 °C.

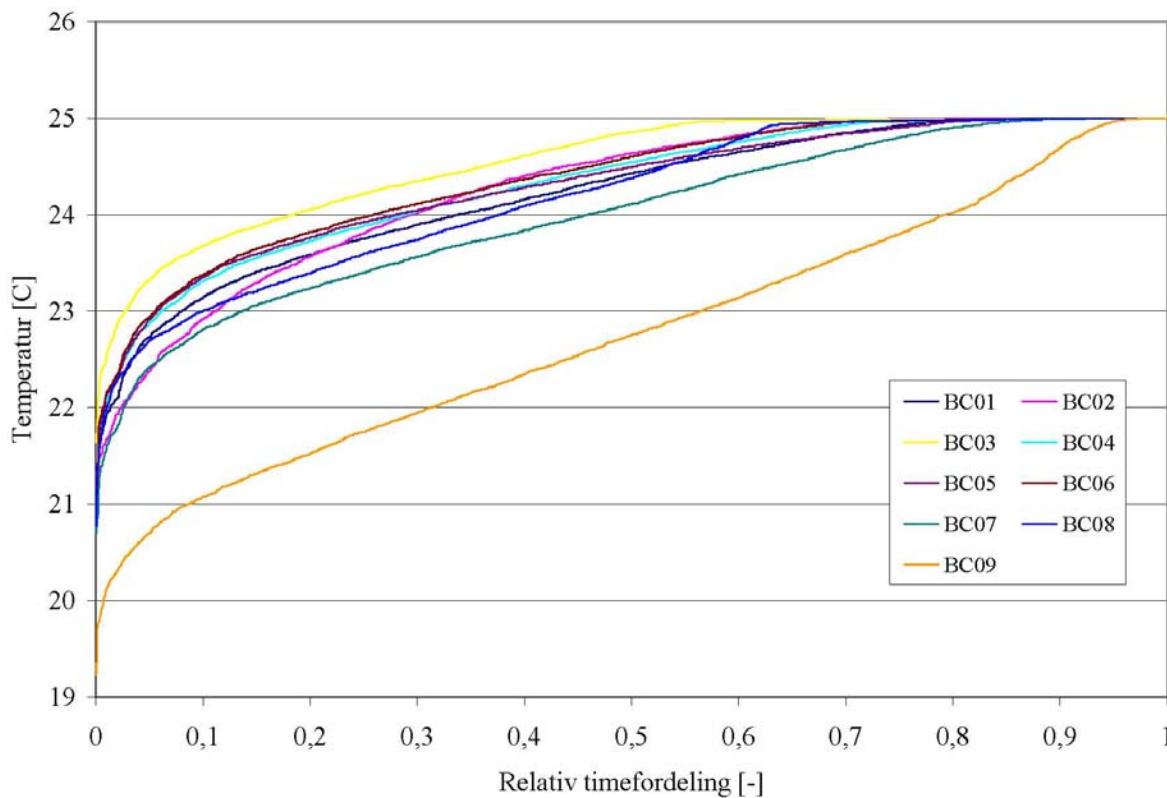


**Figur 40:** Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse A om vinteren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 21 °C og 23 °C.





**Figur 41:** Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse B om vinteren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 20 °C og 24 °C.



**Figur 42:** Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse C om vinteren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 19 °C og 25 °C.

## G. Atmosfærisk indeklima

I det følgende bilag kan yderlig resultatdokumentation for ALFA- og BETA-bygningens forventede atmosfæriske indeklima findes. I Tabel 18 er figurerne listet med figurnummer og emne, for at lette læsningen af bilaget. Herefter følger figurer med luftskiftets forløb for en typisk sommer- og vinterdag, fordeling og varighedskurve af luftskiftet. Samme figurer for CO<sub>2</sub> koncentrationen efterfølger.

Figur 37: Profil af luftskiftet for forventningsklasse B d. 13. juli, ALFA-bygning.
Figur 38: Profil af luftskiftet for forventningsklasse C d. 13. juli, ALFA-bygning.
Figur 39: Fordeling af luftskifte ift. parametervariation for forventningsklasse B om sommeren, ALFA-bygning.
Figur 40: Fordeling af luftskifte ift. parametervariation for forventningsklasse C om sommeren, ALFA-bygning.
Figur 41: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om sommeren hverdage kl. 8-17, ALFA-bygning.
Figur 42: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om sommeren hverdage kl. 8-17, ALFA-bygning.
Figur 43: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om sommeren hverdage kl. 8-17, ALFA-bygning.
Figur 44: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om sommeren hverdage kl. 17-24 samt lørdage kl. 8-17, ALFA-bygning.
Figur 45: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om sommeren hverdage kl. 17-24 samt lørdage kl. 8-17, ALFA-bygning.
Figur 46: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om sommeren hverdage kl. 17-24 samt lørdage kl. 8-17, ALFA-bygning.
Figur 47: Udvikling af CO <sub>2</sub> koncentrationen for forventningsklasse B d. 13. juli, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO <sub>2</sub> koncentration 1010 ppm.
Figur 48: Udvikling af CO <sub>2</sub> koncentrationen for forventningsklasse C d. 13. juli, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO <sub>2</sub> koncentration 1540 ppm.
Figur 49: Varighedskurve for CO <sub>2</sub> koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om sommeren, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO <sub>2</sub> koncentration 810 ppm.
Figur 50: Varighedskurve for CO <sub>2</sub> koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om sommeren, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO <sub>2</sub> koncentration 1010 ppm.
Figur 51: Varighedskurve for CO <sub>2</sub> koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om sommeren, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO <sub>2</sub> koncentration 1540 ppm.
Figur 52: Profil af luftskiftet for forventningsklasse B d. 29. november, ALFA-bygning.
Figur 53: Profil af luftskiftet for forventningsklasse C d. 29. november, ALFA-bygning.
Figur 54: Fordeling af luftskifte ift. parametervariation for forventningsklasse B om vinteren, ALFA-bygning.
Figur 55: Fordeling af luftskifte ift. parametervariation for forventningsklasse C om vinteren, ALFA-bygning.
Figur 56: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om vinteren hverdage kl. 8-17, ALFA-bygning.
Figur 57: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om vinteren hverdage kl. 8-17, ALFA-bygning.
Figur 58: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om vinteren hverdage kl. 8-17, ALFA-bygning.
Figur 59: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om vinteren hverdage kl. 17-24 samt lørdage kl. 8-17, ALFA-bygning.
Figur 60: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om vinteren hverdage kl. 17-24 samt lørdage kl. 8-17, ALFA-bygning.
Figur 61: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om vinteren hverdage kl. 17-24 samt lørdage kl. 8-17, ALFA-bygning.
Figur 62: Udvikling af CO <sub>2</sub> koncentrationen for forventningsklasse B d. 29. november, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO <sub>2</sub> koncentration 1010 ppm.
Figur 63: Udvikling af CO <sub>2</sub> koncentrationen for forventningsklasse C d. 29. november, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO <sub>2</sub> koncentration 1540 ppm.
Figur 64: Varighedskurve for CO <sub>2</sub> koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om vinteren, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO <sub>2</sub> koncentration 810 ppm.
Figur 65: Varighedskurve for CO <sub>2</sub> koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om vinteren, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO <sub>2</sub> koncentration 1010 ppm.

Figur 66: Varighedskurve for CO2 koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om vinteren, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO2 koncentration 1540 ppm.

Figur 67: Udvikling af CO2 koncentrationen for forventningsklasse A d. 13. juli, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO2 koncentration 810 ppm.

Figur 68: Udvikling af CO2 koncentrationen for forventningsklasse B d. 13. juli, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO2 koncentration 1010 ppm.

Figur 69: Udvikling af CO2 koncentrationen for forventningsklasse C d. 13. juli, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO2 koncentration 1540 ppm.

Figur 70: Varighedskurve for CO2 koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om sommeren, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO2 koncentration 810 ppm.

Figur 71: Varighedskurve for CO2 koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om sommeren, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO2 koncentration 1010 ppm.

Figur 72: Varighedskurve for CO2 koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om sommeren, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO2 koncentration 1540 ppm.

Figur 73: Udvikling af CO2 koncentrationen for forventningsklasse A d. 29. november, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO2 koncentration 810 ppm.

Figur 74: Udvikling af CO2 koncentrationen for forventningsklasse B d. 29. november, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO2 koncentration 1010 ppm.

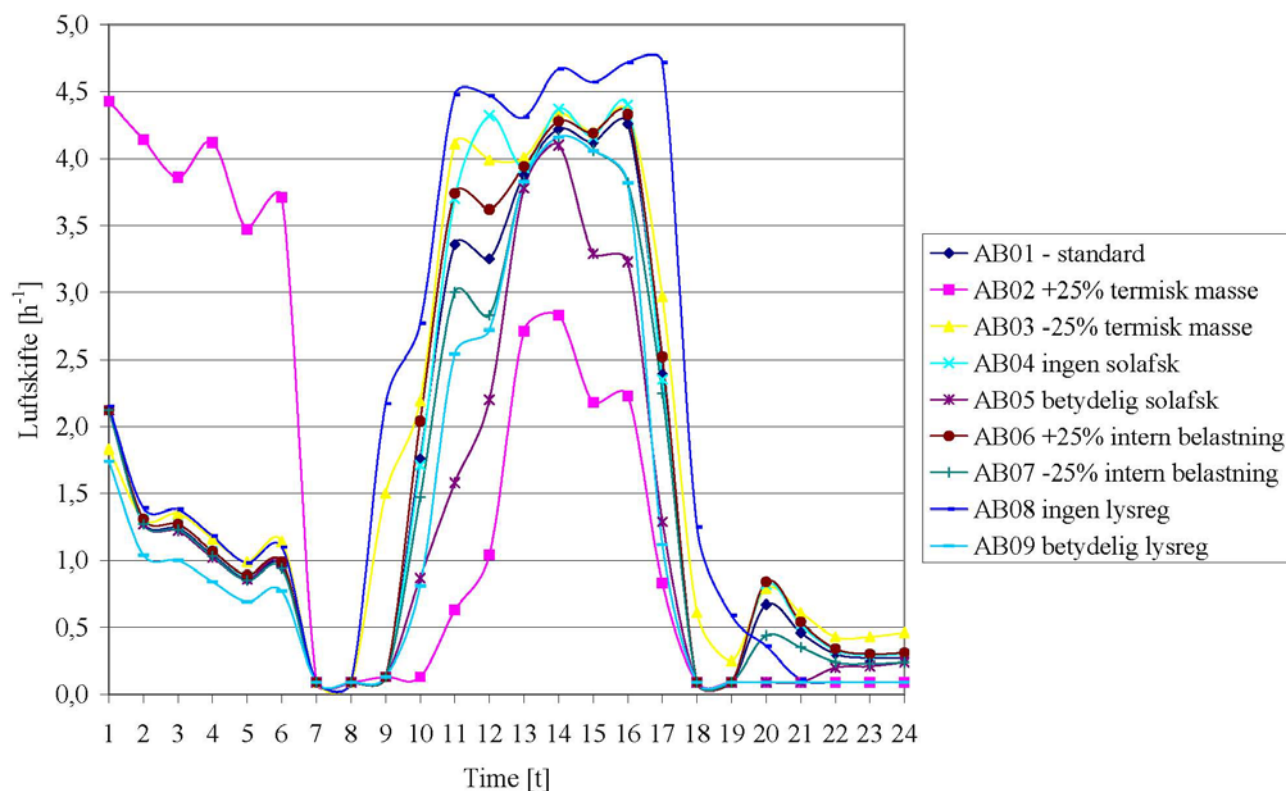
Figur 75: Udvikling af CO2 koncentrationen for forventningsklasse C d. 29. november, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO2 koncentration 1540 ppm.

Figur 76: Varighedskurve for CO2 koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om vinteren, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO2 koncentration 810 ppm.

Figur 77: Varighedskurve for CO2 koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om vinteren, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO2 koncentration 1010 ppm.

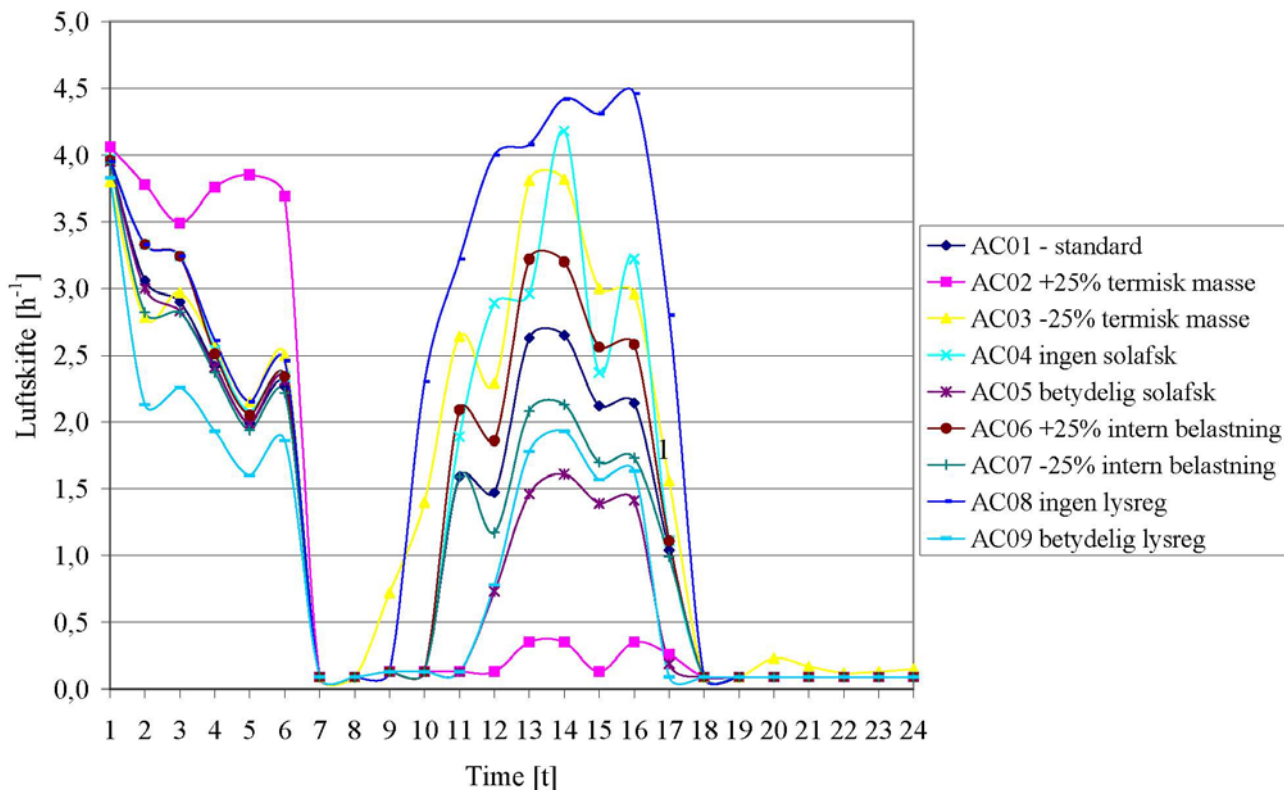
Figur 78: Varighedskurve for CO2 koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om vinteren, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO2 koncentration 1540 ppm.

**Tabel 18:** Figuroversigt for det forventede atmosfæriske indeklima.

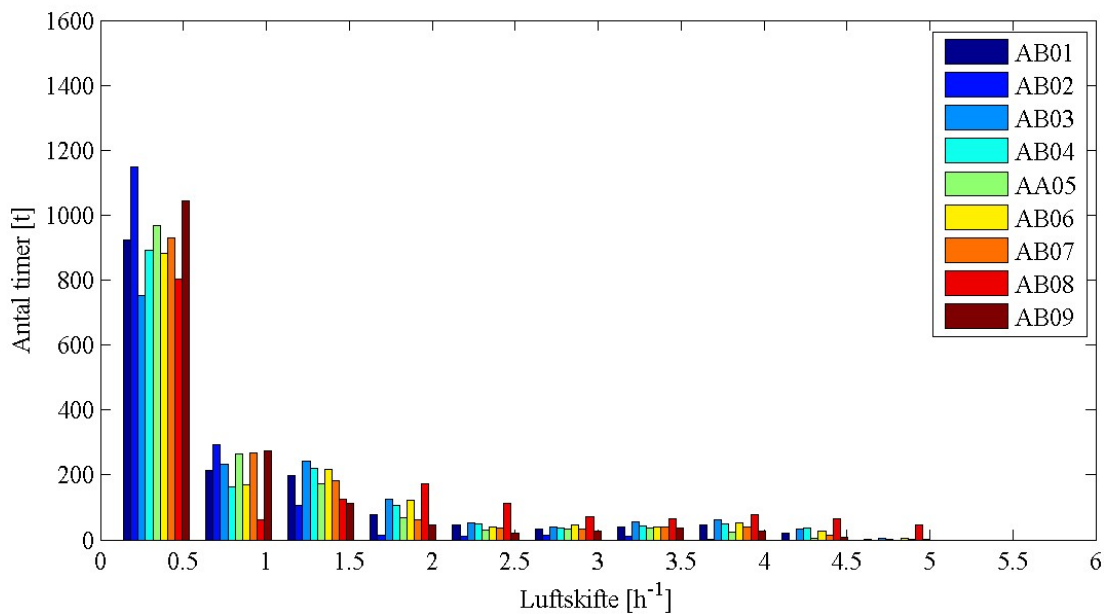


**Figur 43:** Profil af luftskiftet for forventningsklasse B d. 13. juli, ALFA-bygning.

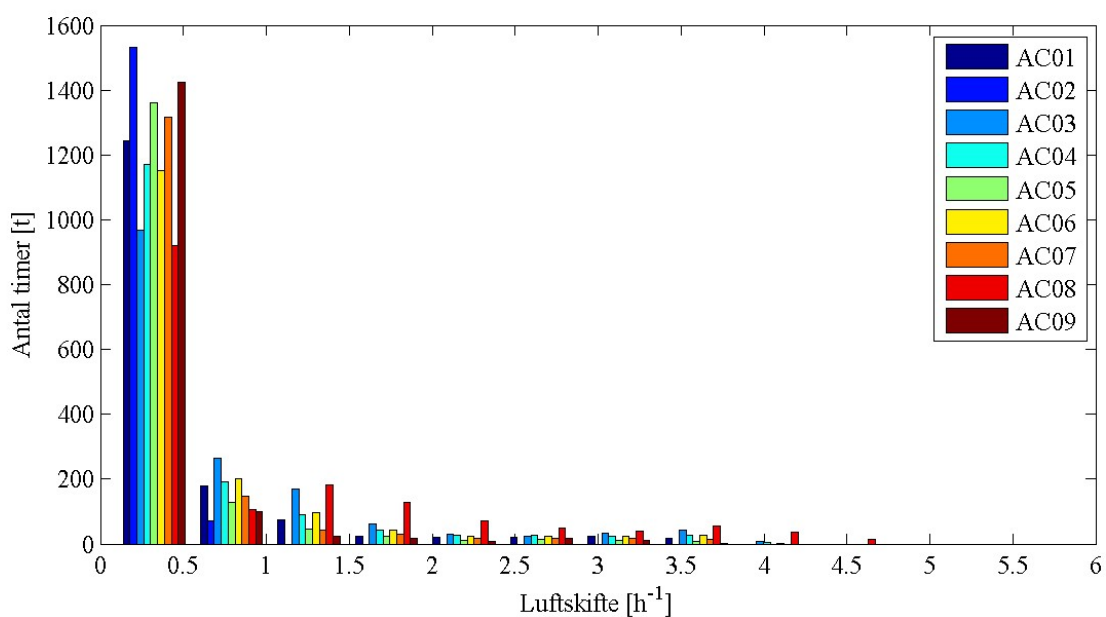




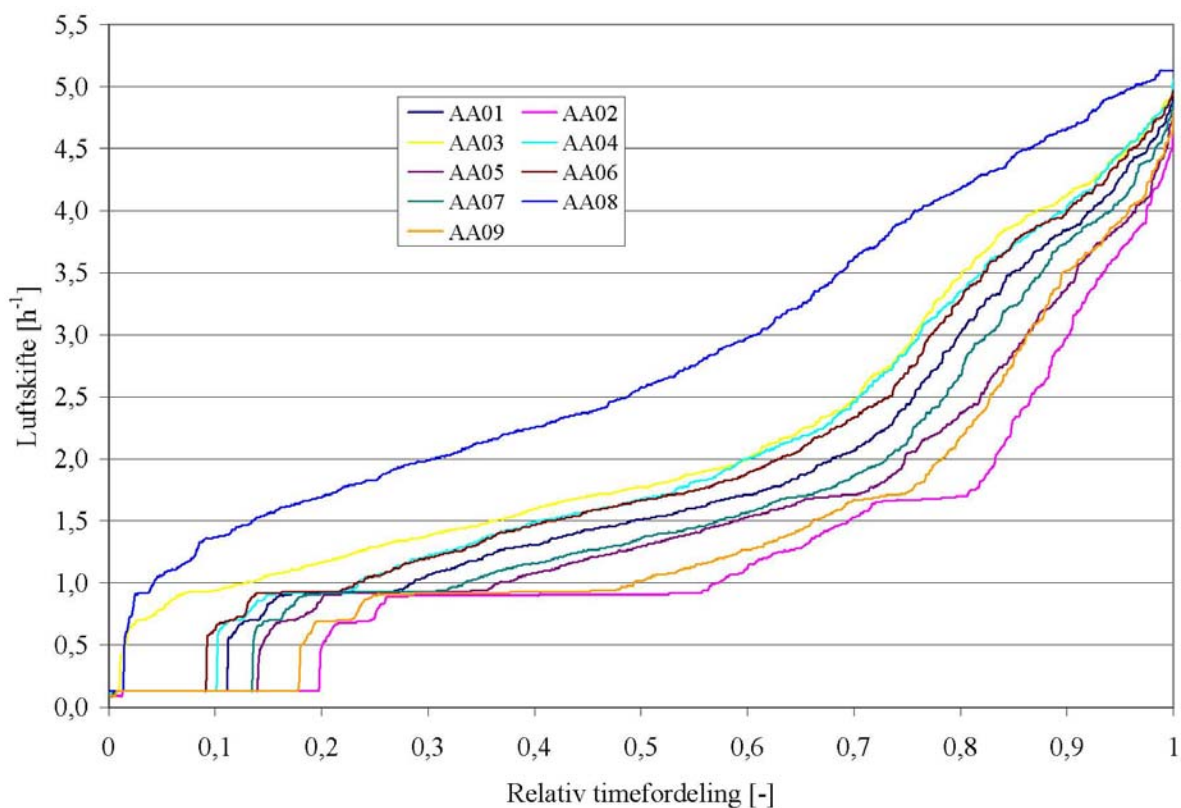
Figur 44: Profil af luftskiftet for forventningsklasse C d. 13. juli, ALFA-bygning.



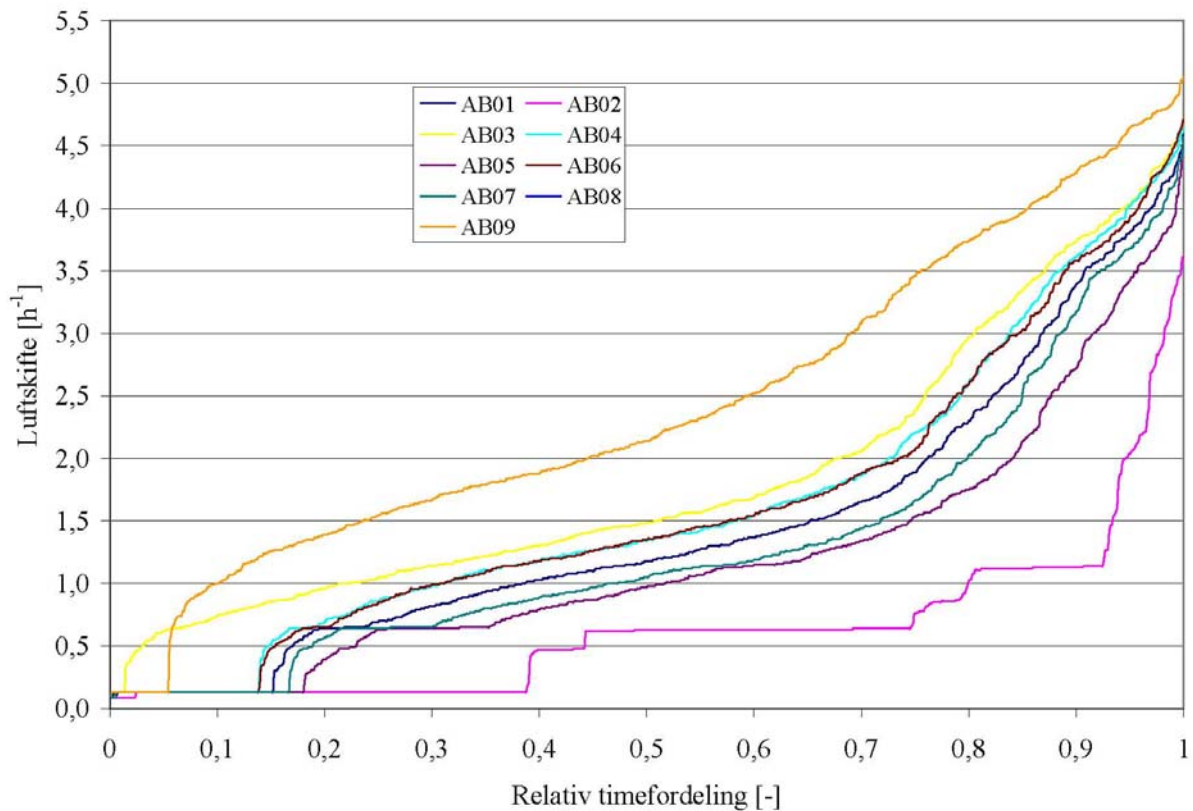
Figur 45: Fordeling af luftskifte ift. parametervariation for forventningsklasse B om sommeren, ALFA-bygning.



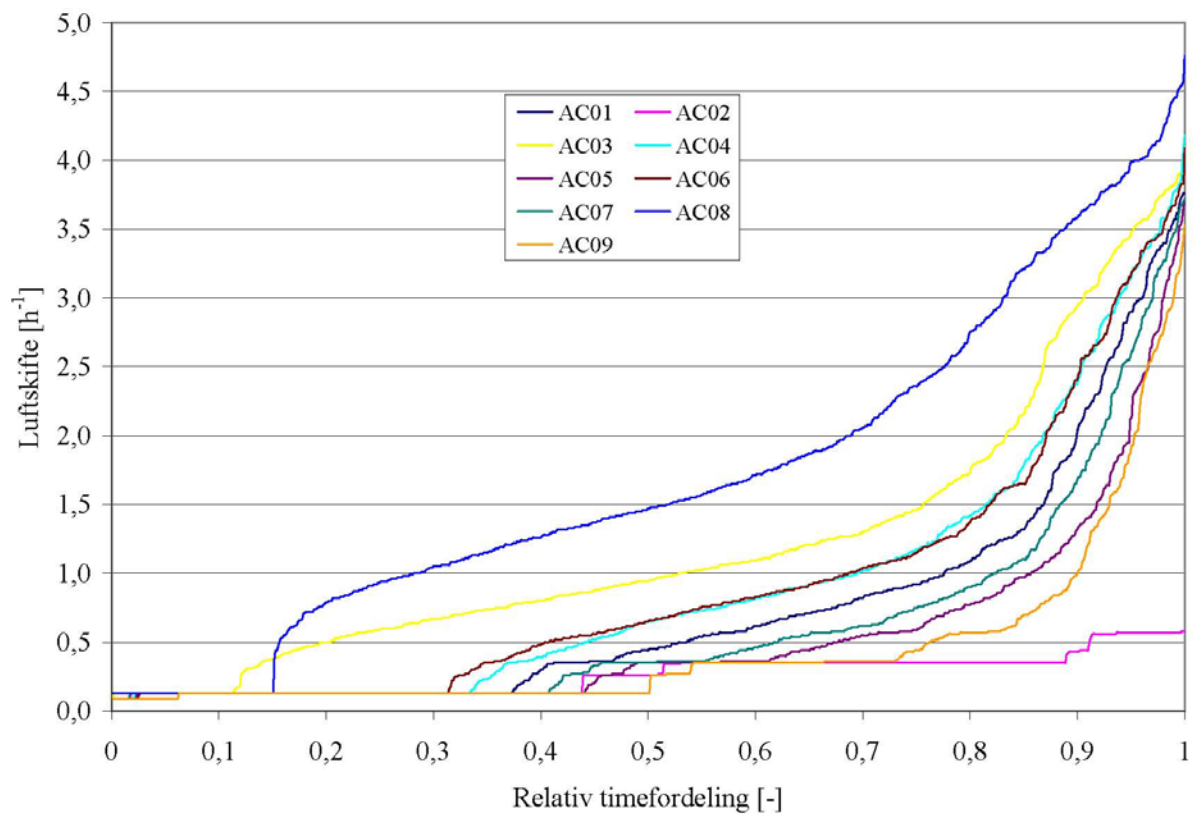
**Figur 46:** Fordeling af luftskifte ift. parametervariation for forventningsklasse C om sommeren, ALFA-bygning.



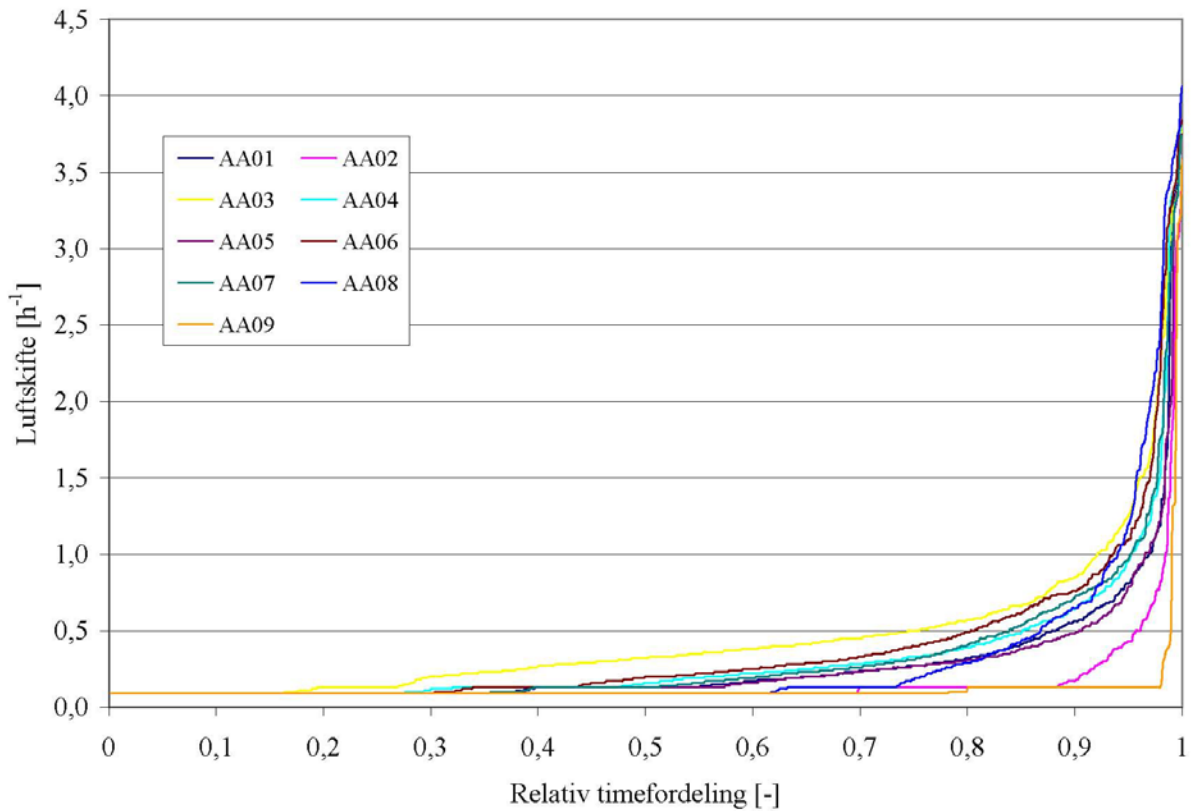
**Figur 47:** Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om sommeren hverdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



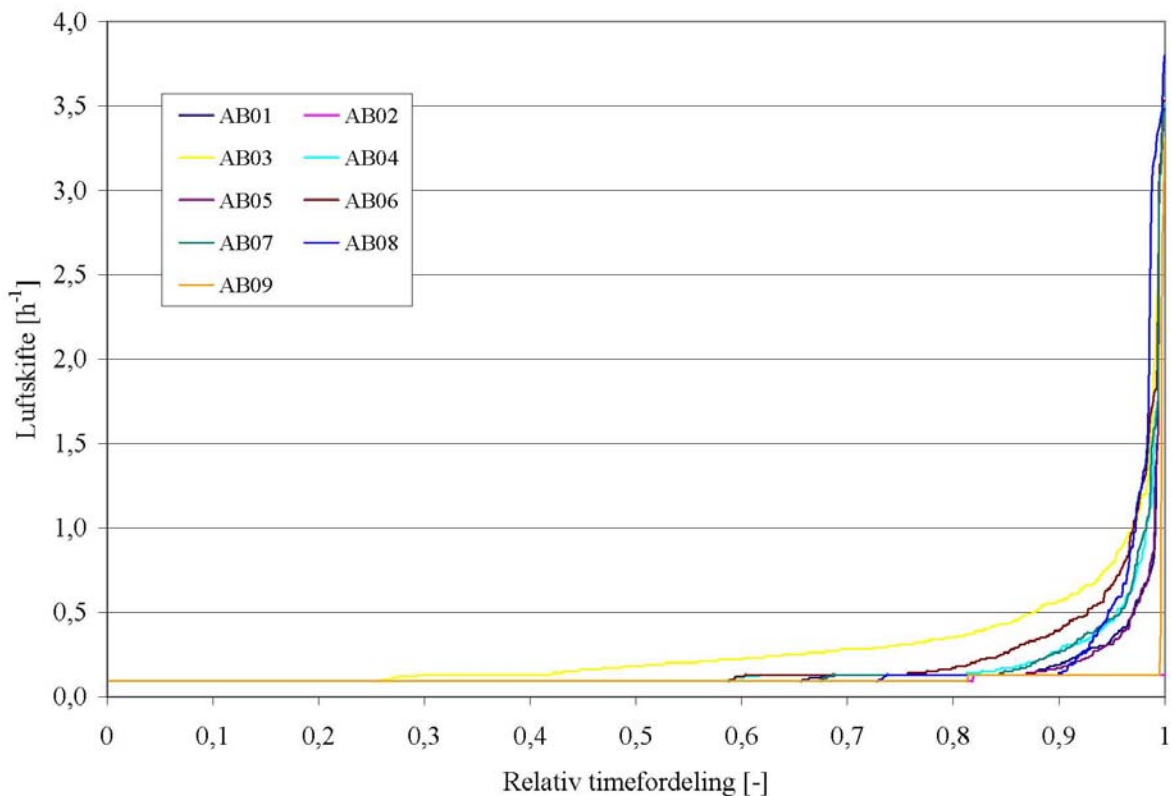
**Figur 48:** Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om sommeren hverdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



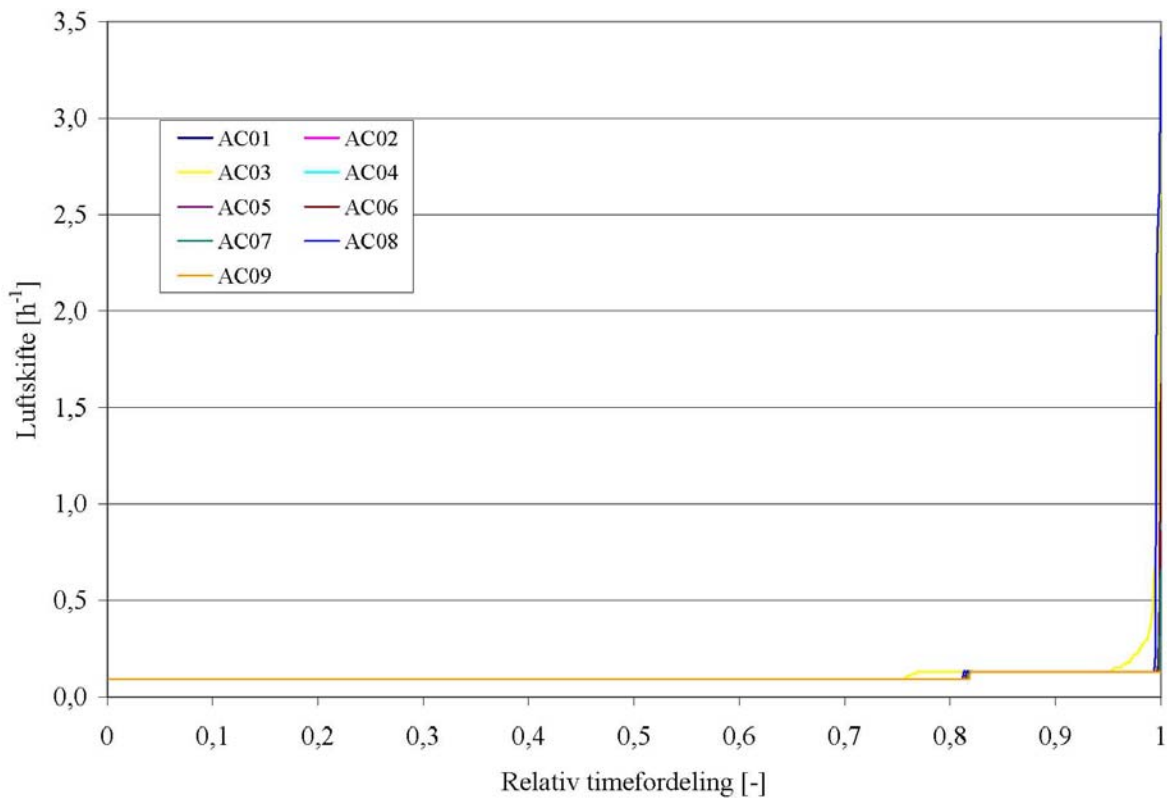
**Figur 49:** Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om sommeren hverdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



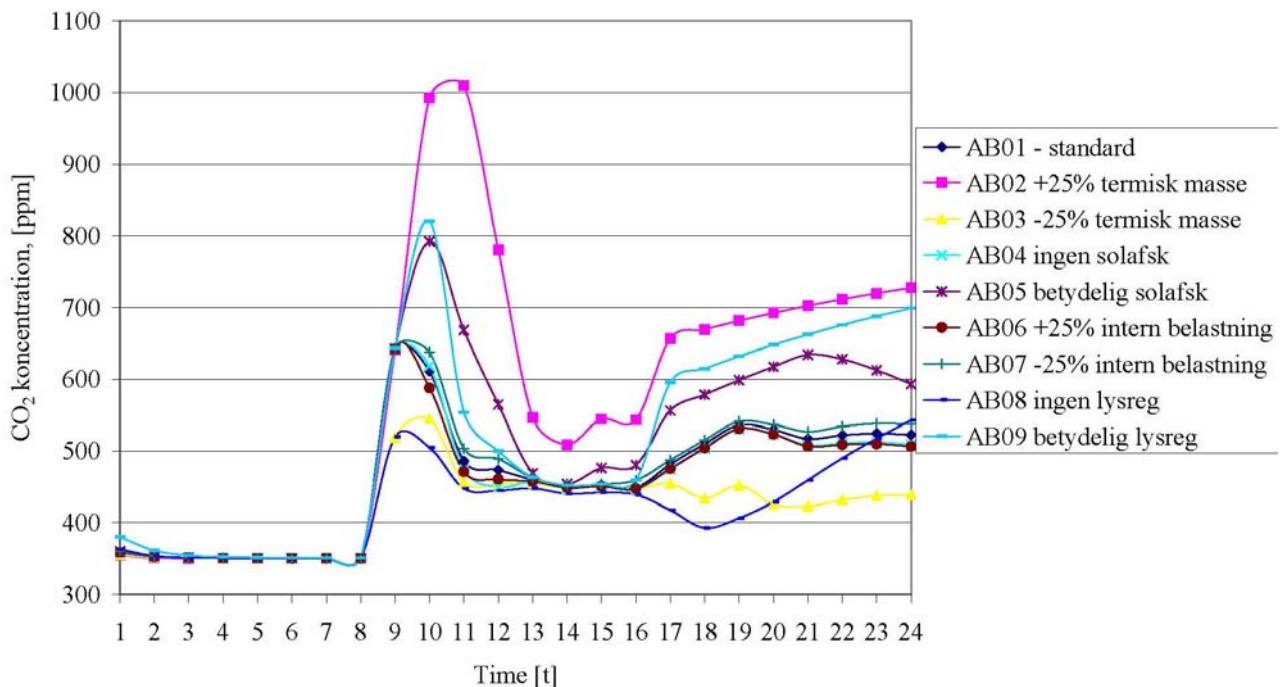
**Figur 50:** Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om sommeren hverdage kl. 17-24 samt lørdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



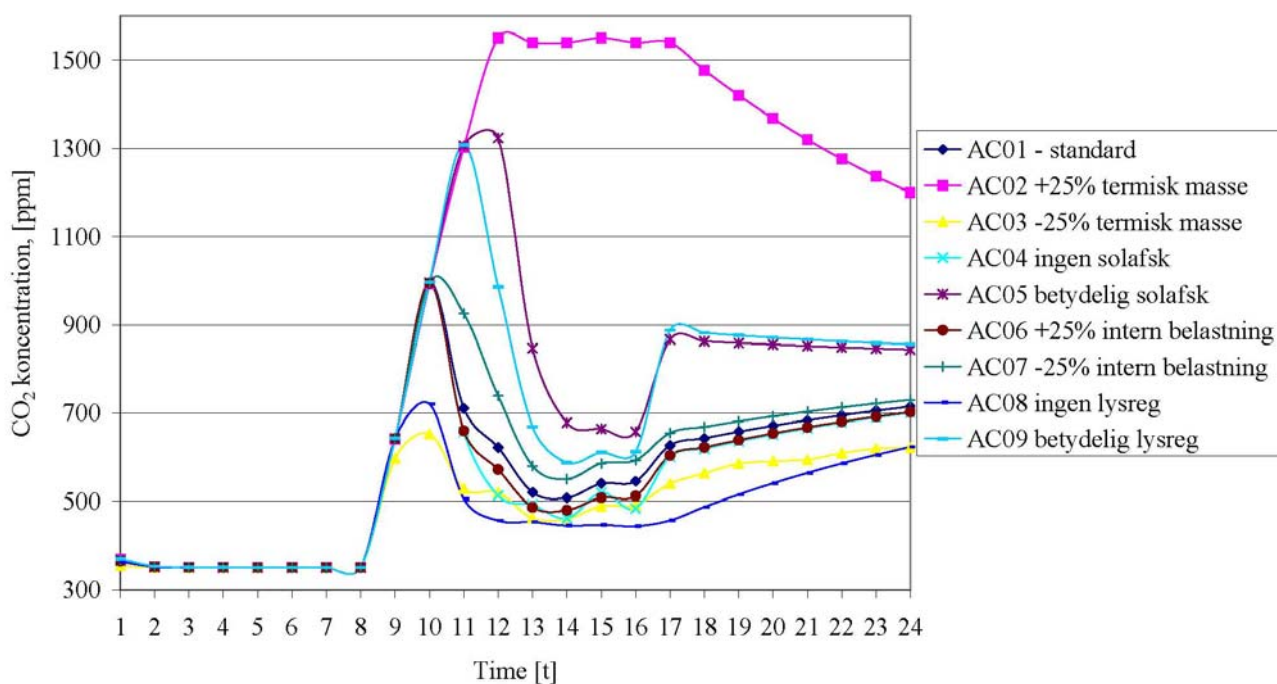
**Figur 51:** Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om sommeren hverdage kl. 17-24 samt lørdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



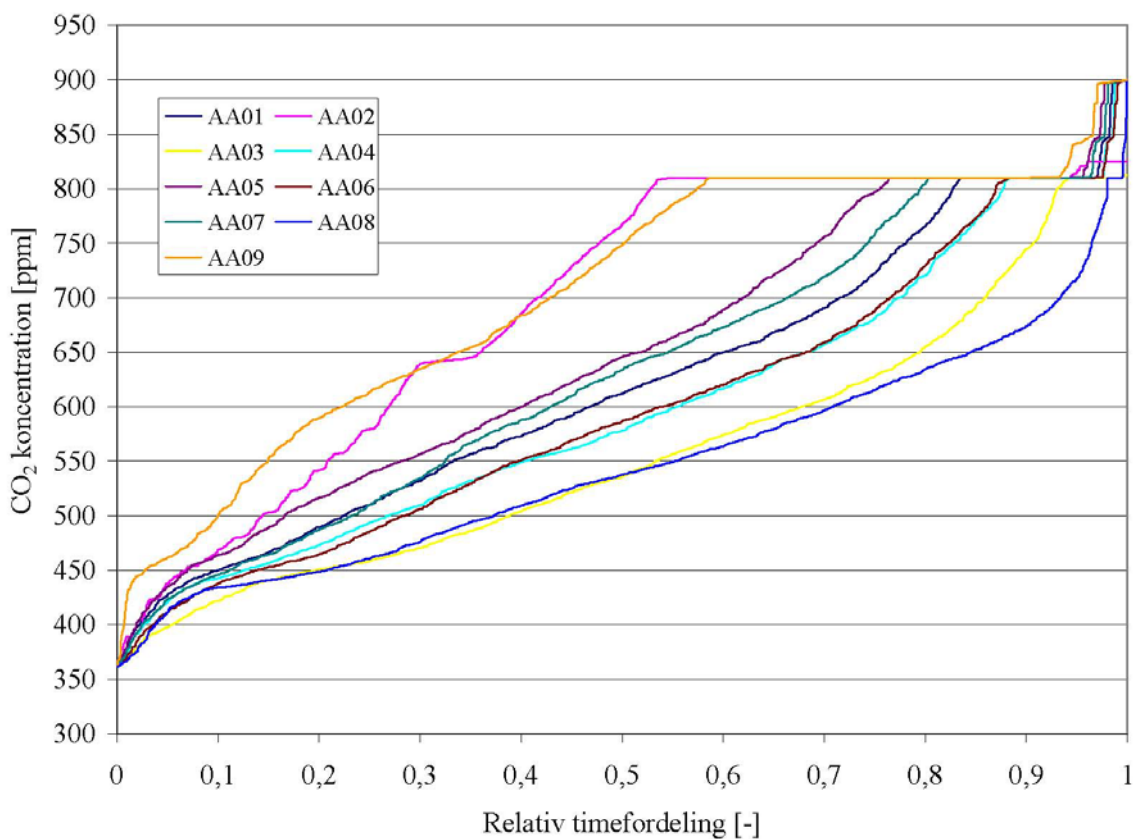
**Figur 52:** Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om sommeren hverdage kl. 17-24 samt lørdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



**Figur 53:** Udvikling af CO<sub>2</sub> koncentrationen for forventningsklasse B d. 13. juli, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 1010 ppm.

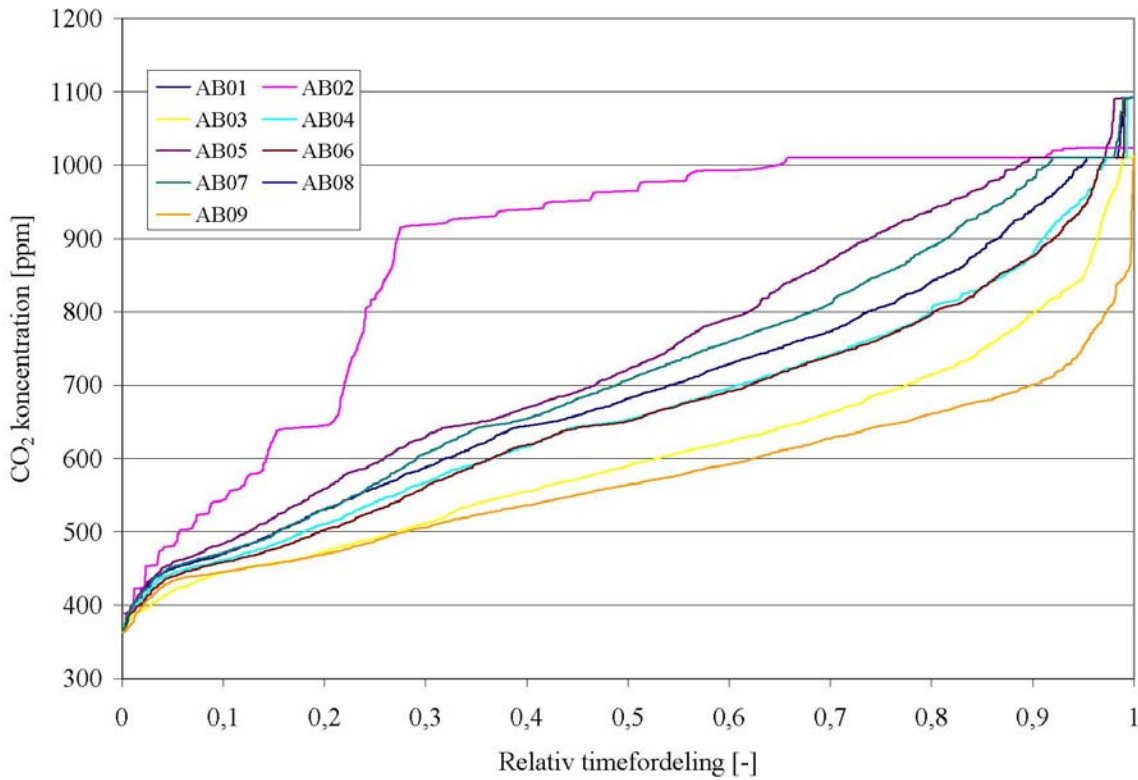


**Figur 54:** Udvikling af CO<sub>2</sub> koncentrationen for forventningsklasse C d. 13. juli, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 1540 ppm.

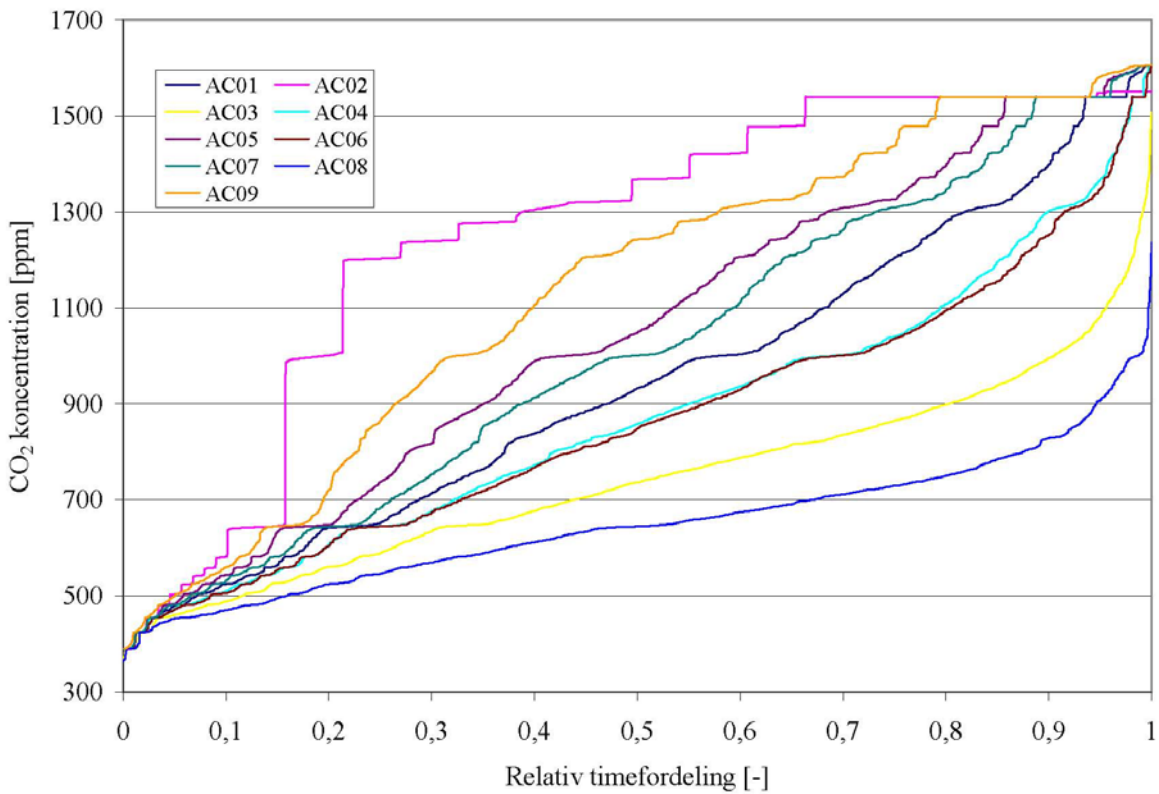


**Figur 55:** Varighedskurve for CO<sub>2</sub> koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om sommeren, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 810 ppm.



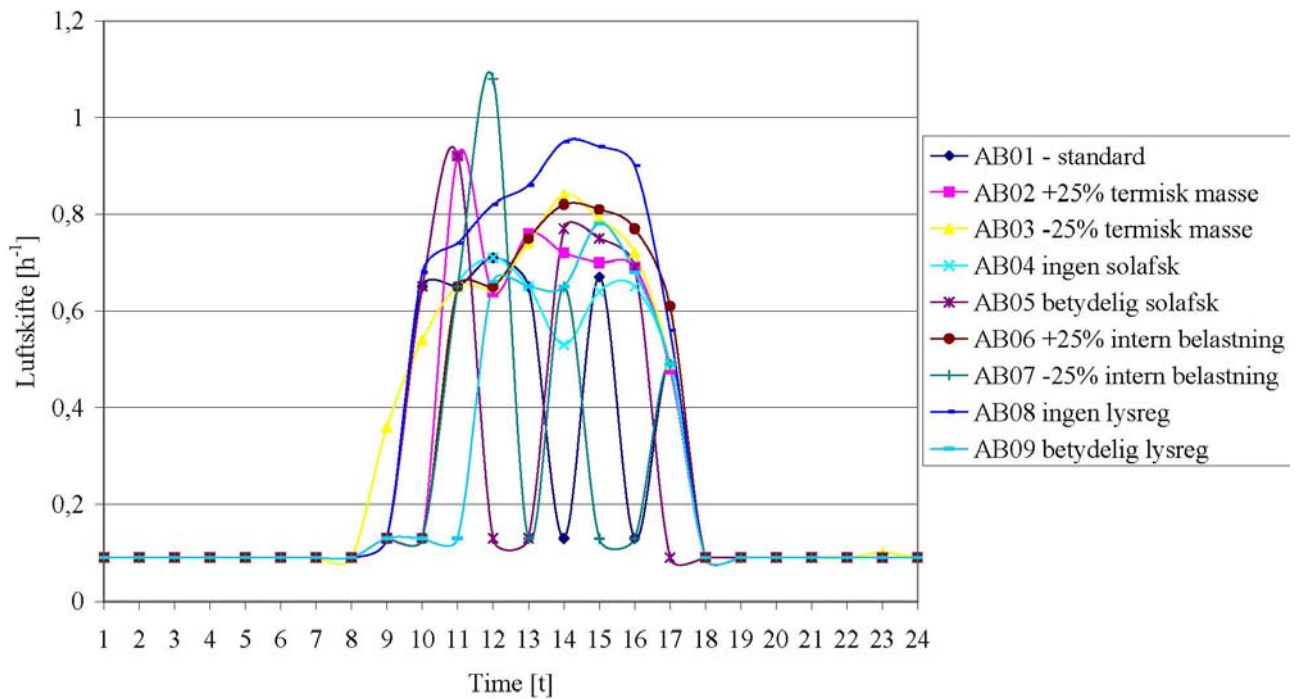


**Figur 56:** Varighedskurve for CO<sub>2</sub> koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om sommeren, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 1010 ppm.

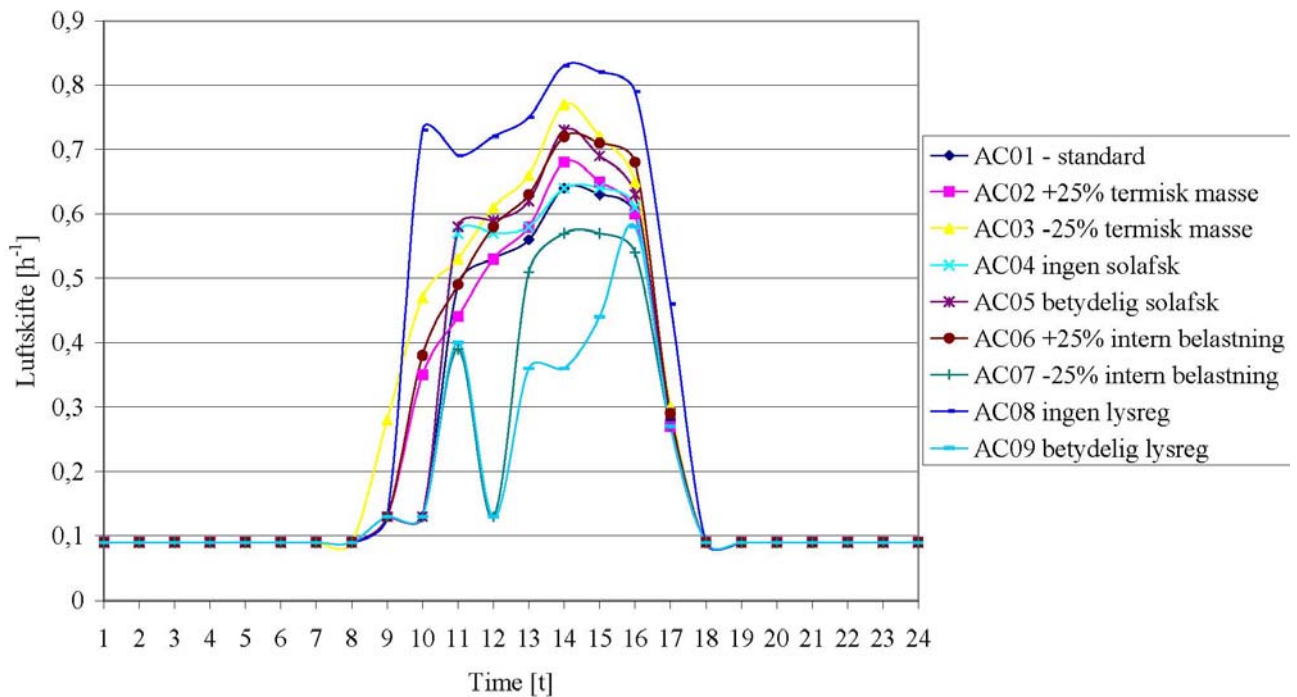


**Figur 57:** Varighedskurve for CO<sub>2</sub> koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om sommeren, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 1540 ppm.

## ALFA-bygning, vintercases

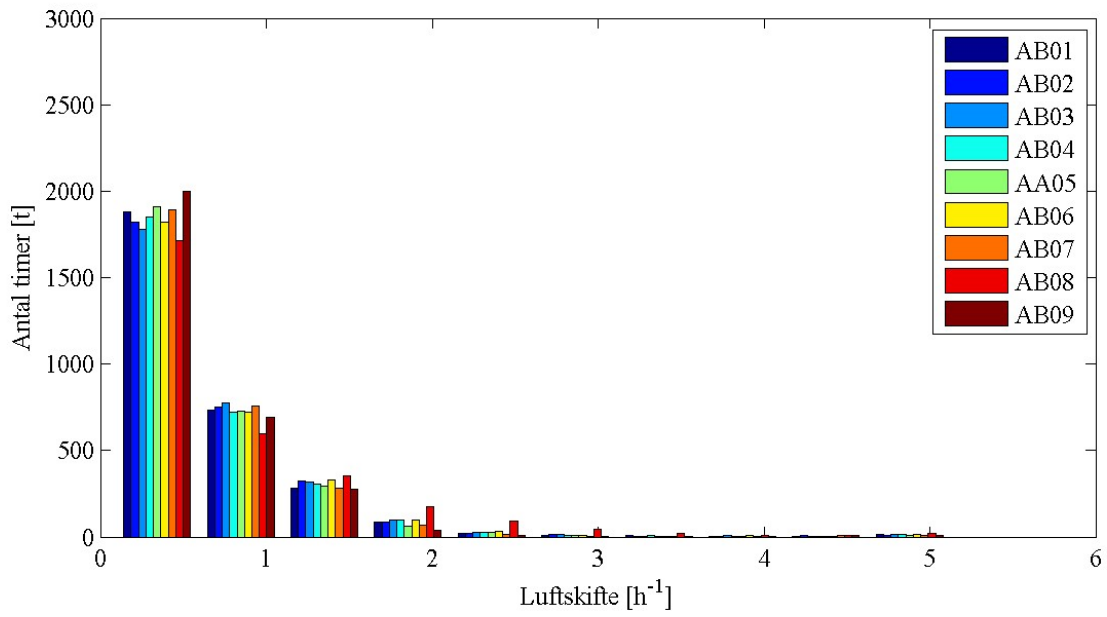


**Figur 58:** Profil af luftskiftet for forventningsklasse B d. 29. november, ALFA-bygning.

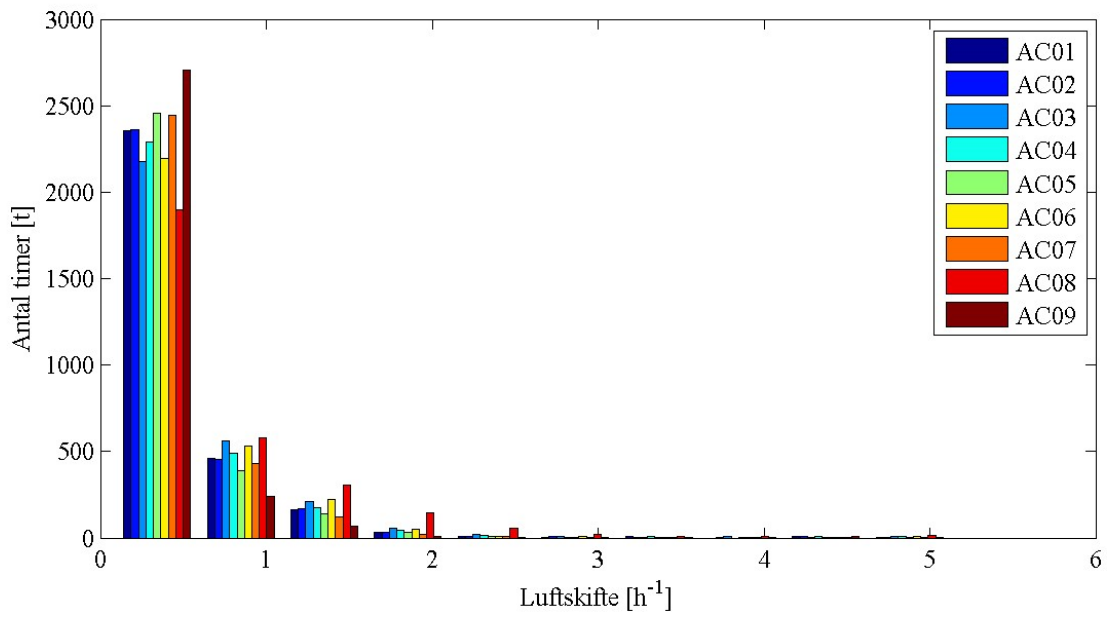


**Figur 59:** Profil af luftskiftet for forventningsklasse C d. 29. november, ALFA-bygning.

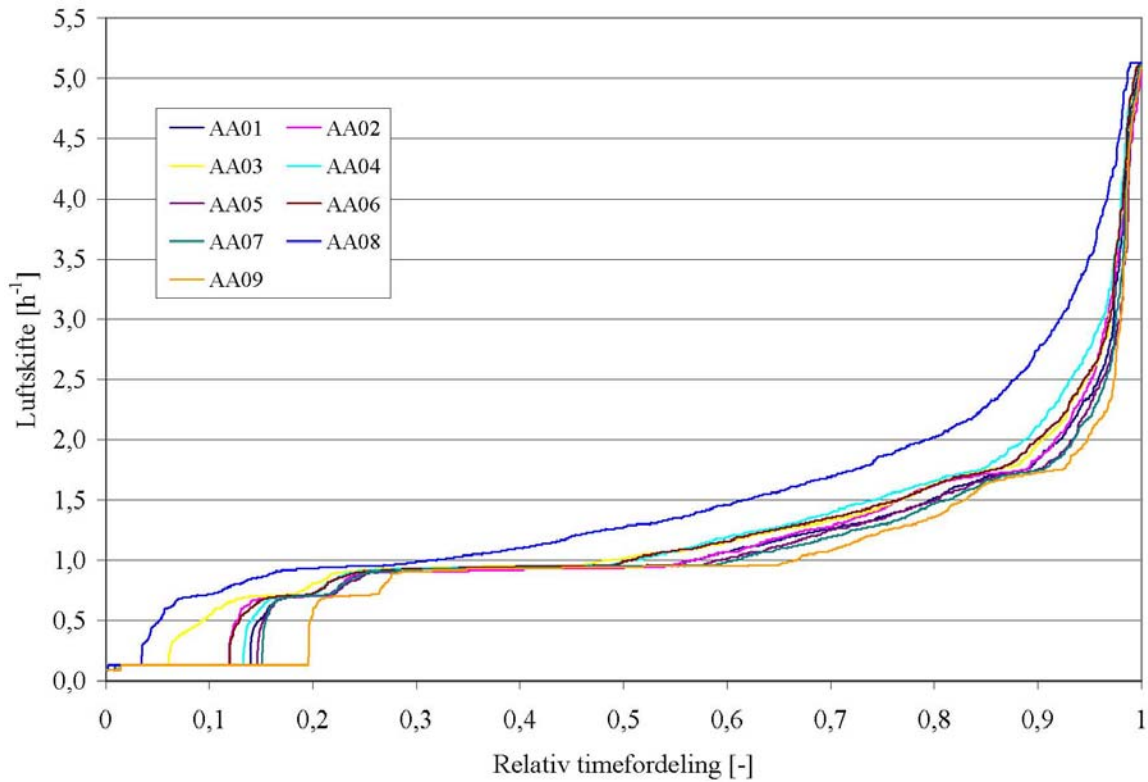




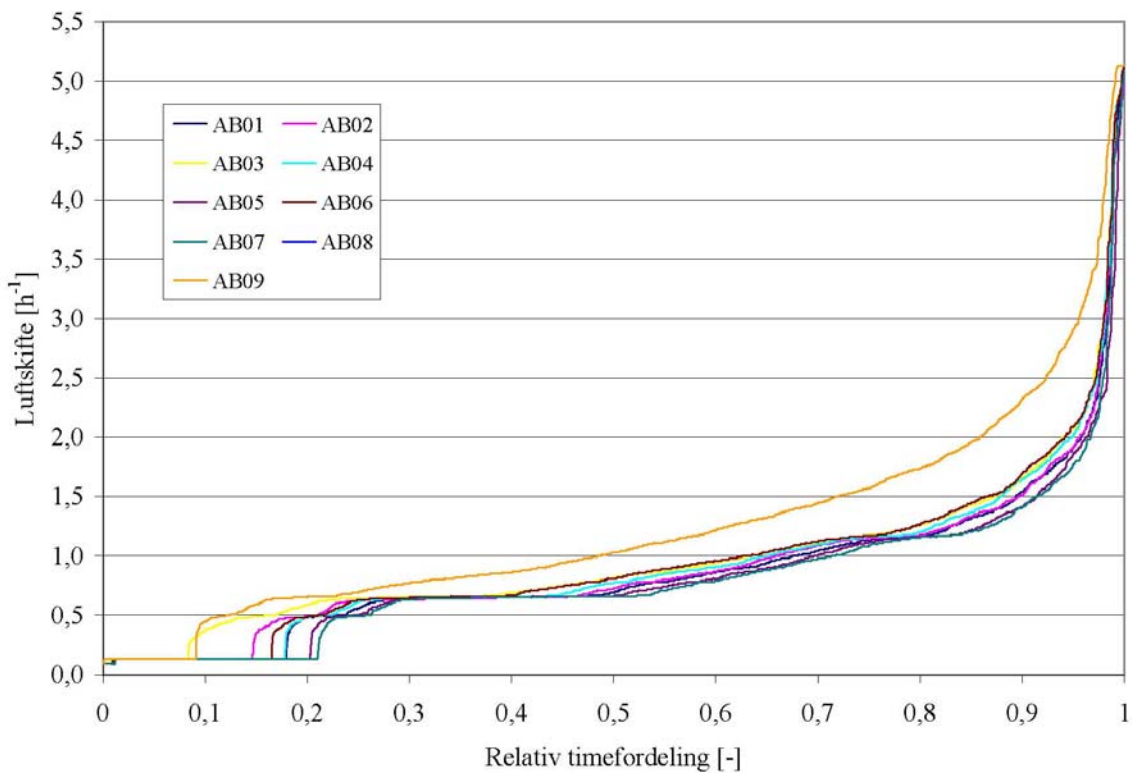
**Figur 60:** Fordeling af luftskifte ift. parametervariation for forventningsklasse B om vinteren, ALFA-bygning.



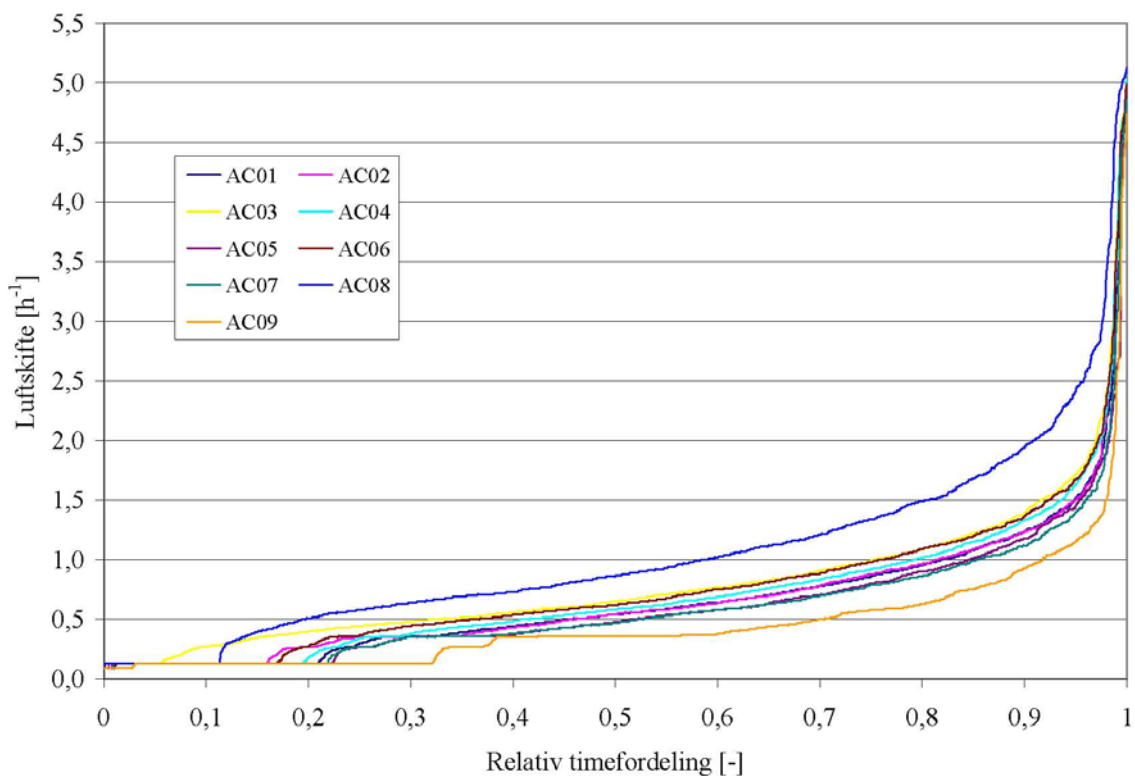
**Figur 61:** Fordeling af luftskifte ift. parametervariation for forventningsklasse C om vinteren, ALFA-bygning.



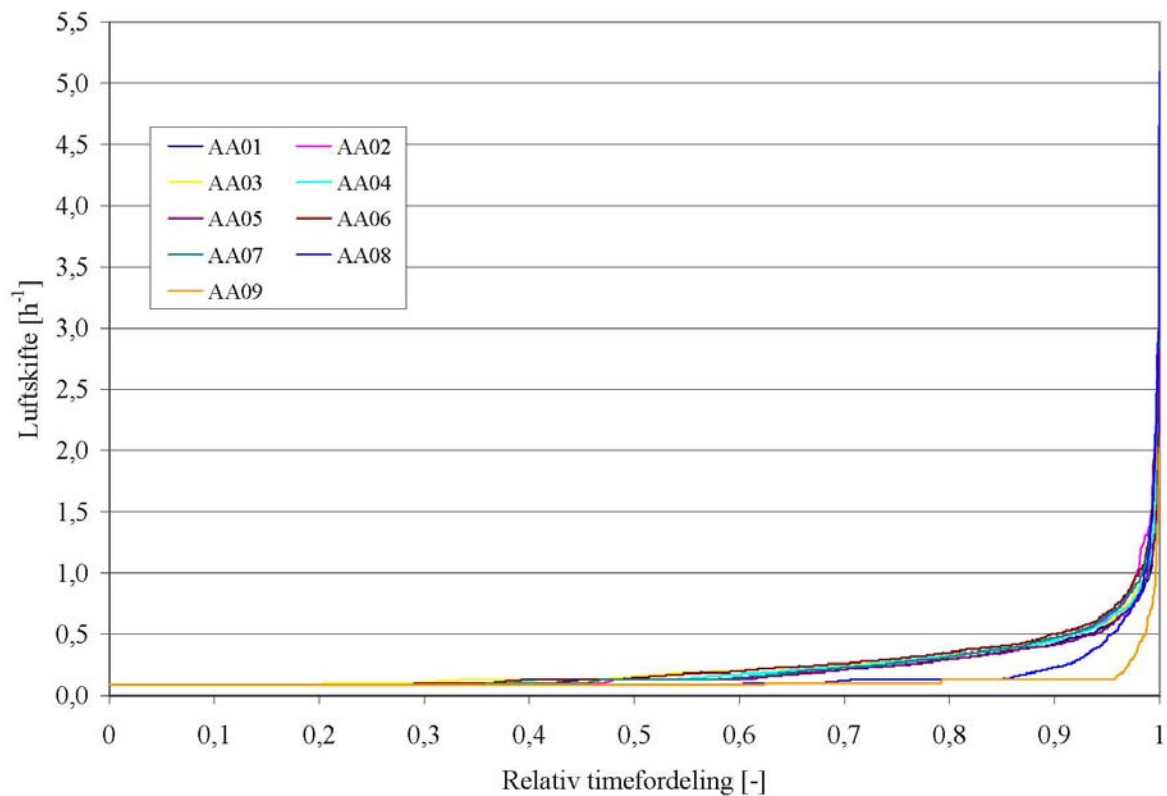
**Figur 62:** Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om vinteren hverdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



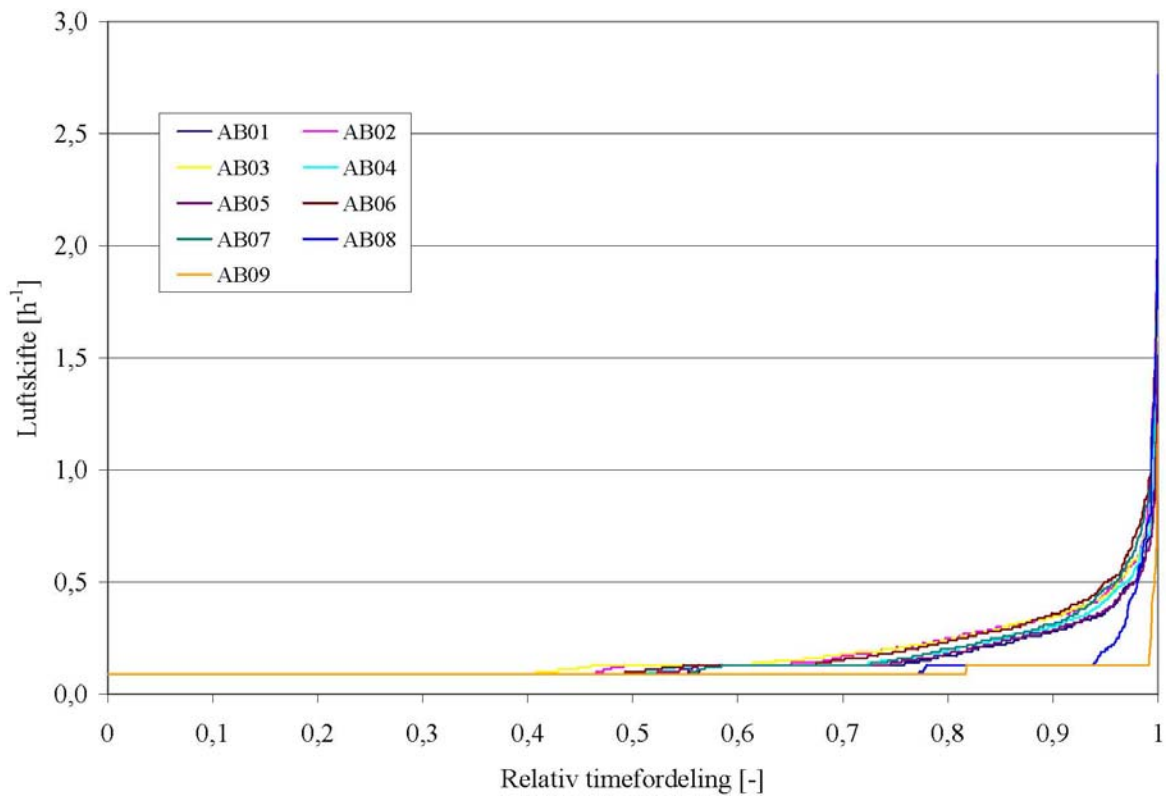
**Figur 63:** Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om vinteren hverdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



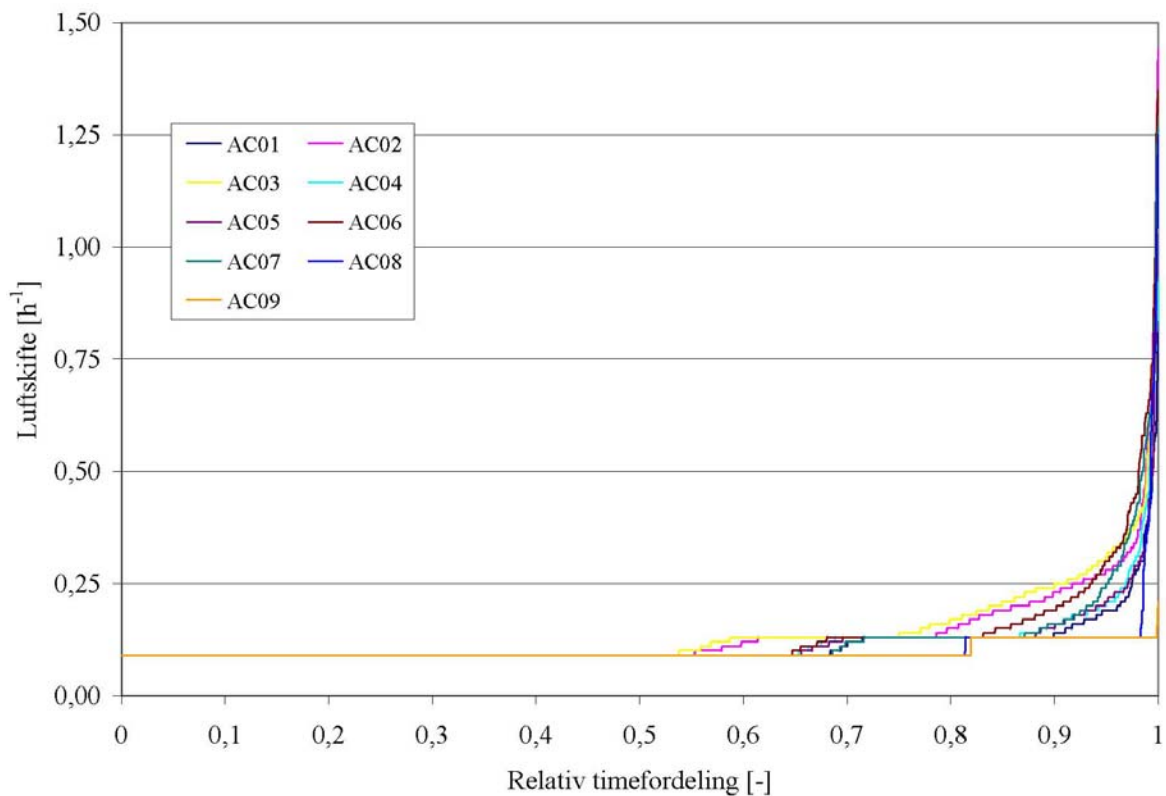
**Figur 64:** Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om vinteren hverdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



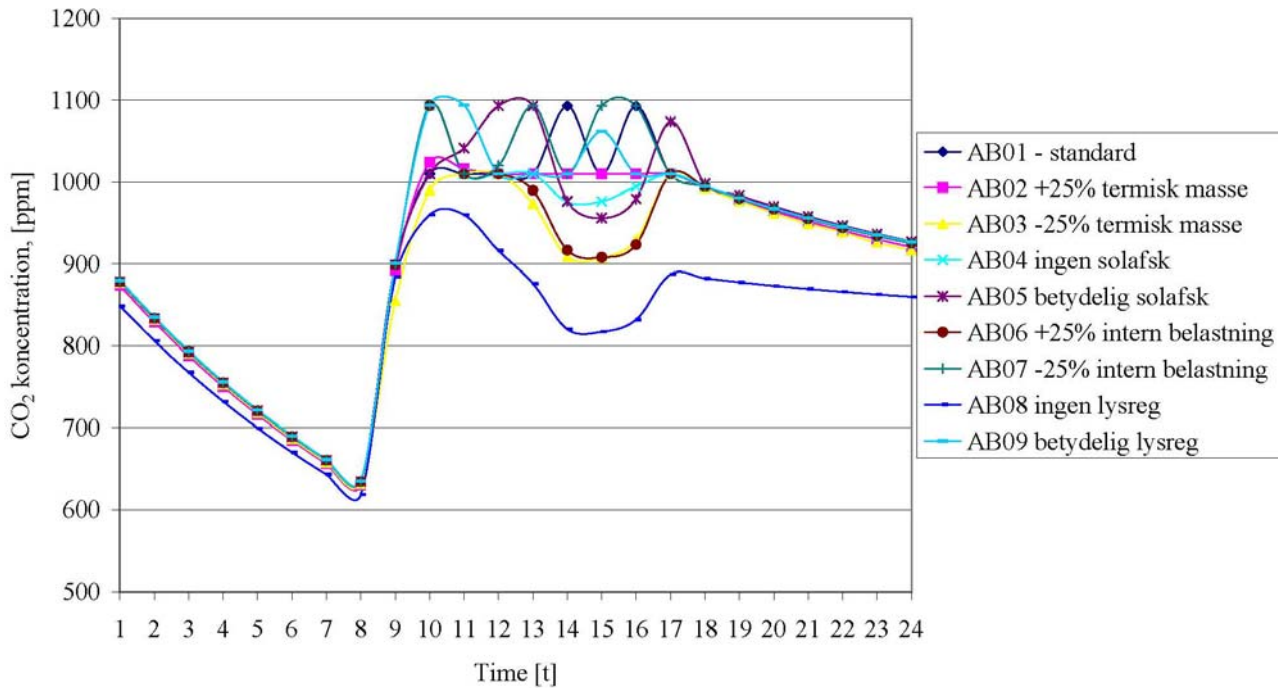
**Figur 65:** Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om vinteren hverdage kl. 17-24 samt lørdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



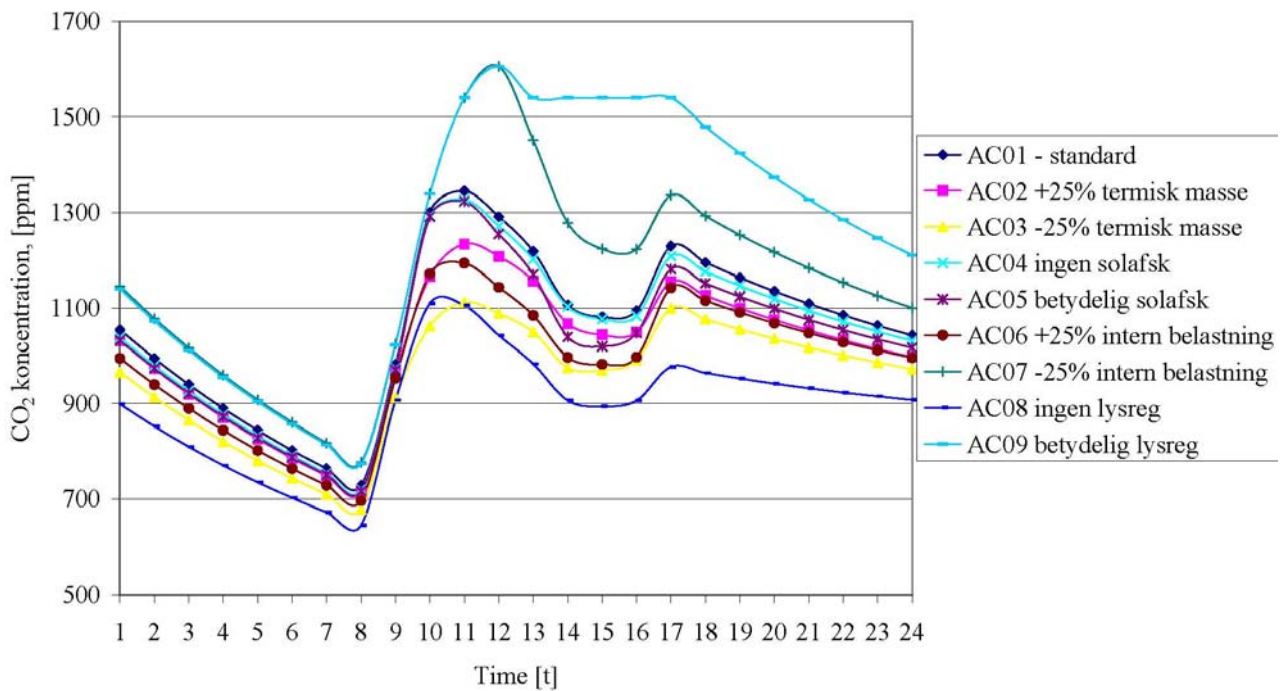
**Figur 66:** Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om vinteren hverdage kl. 17-24 samt lørdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



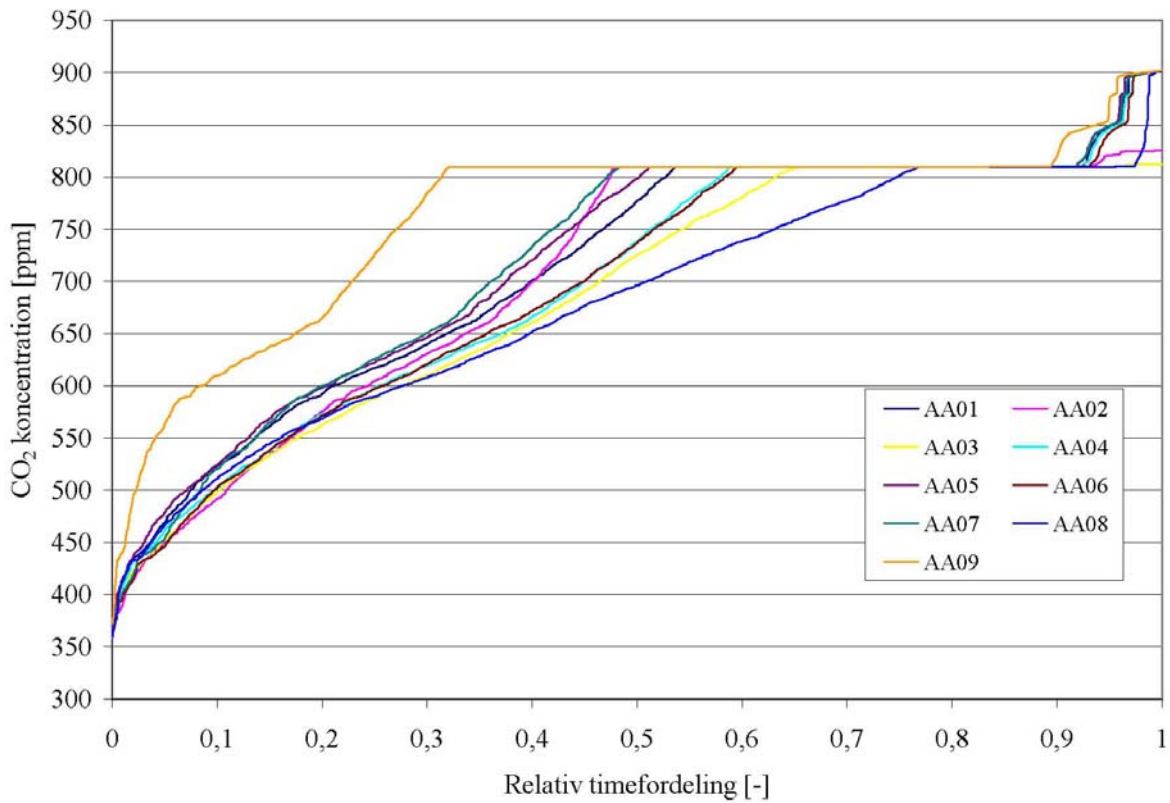
**Figur 67:** Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om vinteren hverdage kl. 17-24 samt lørdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



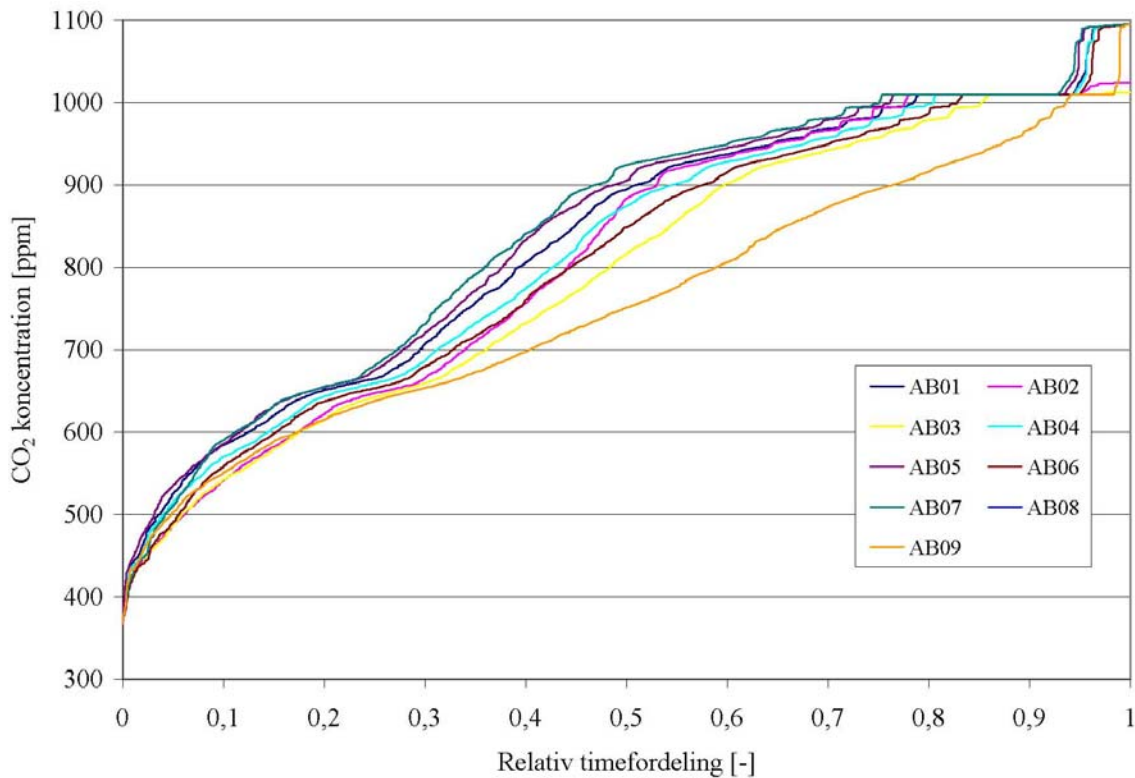
**Figur 68:** Udvikling af CO<sub>2</sub> koncentrationen for forventningsklasse B d. 29. november, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 1010 ppm.



**Figur 69:** Udvikling af CO<sub>2</sub> koncentrationen for forventningsklasse C d. 29. november, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 1540 ppm.

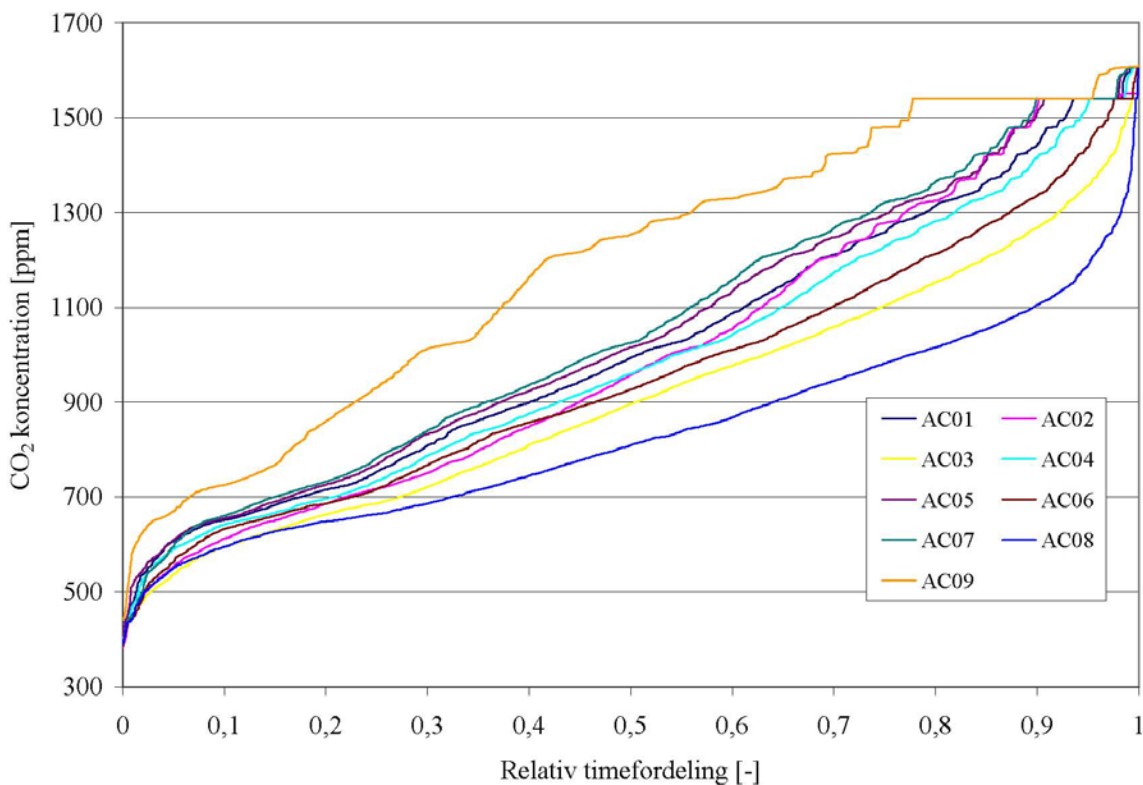


**Figur 70:** Varighedskurve for CO<sub>2</sub> koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om vinteren, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 810 ppm.



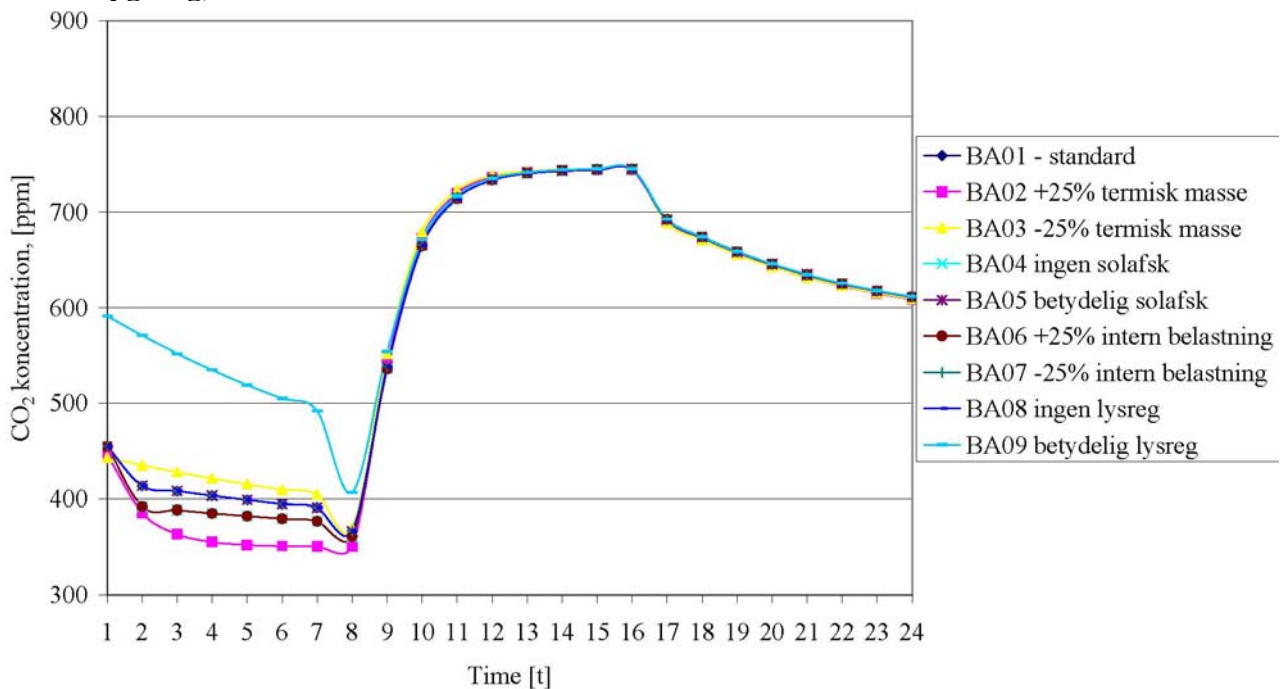
**Figur 71:** Varighedskurve for CO<sub>2</sub> koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om vinteren, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 1010 ppm.



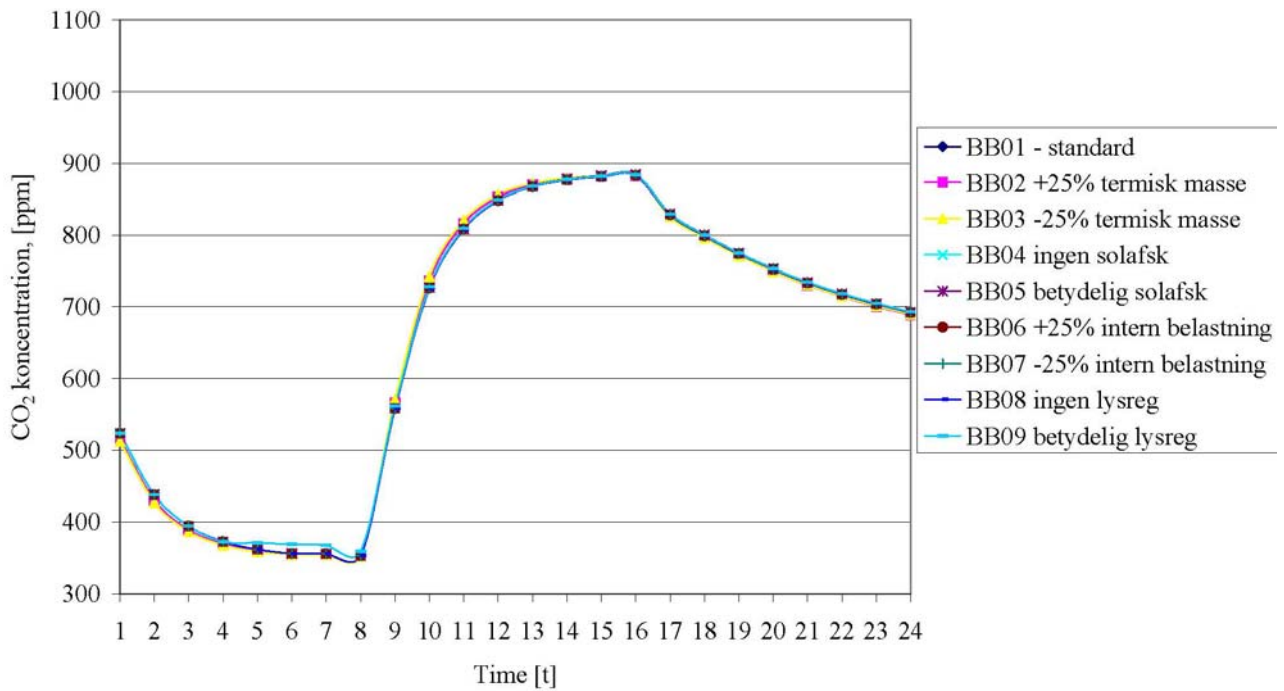


**Figur 72:** Varighedskurve for CO<sub>2</sub> koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om vinteren, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 1540 ppm.

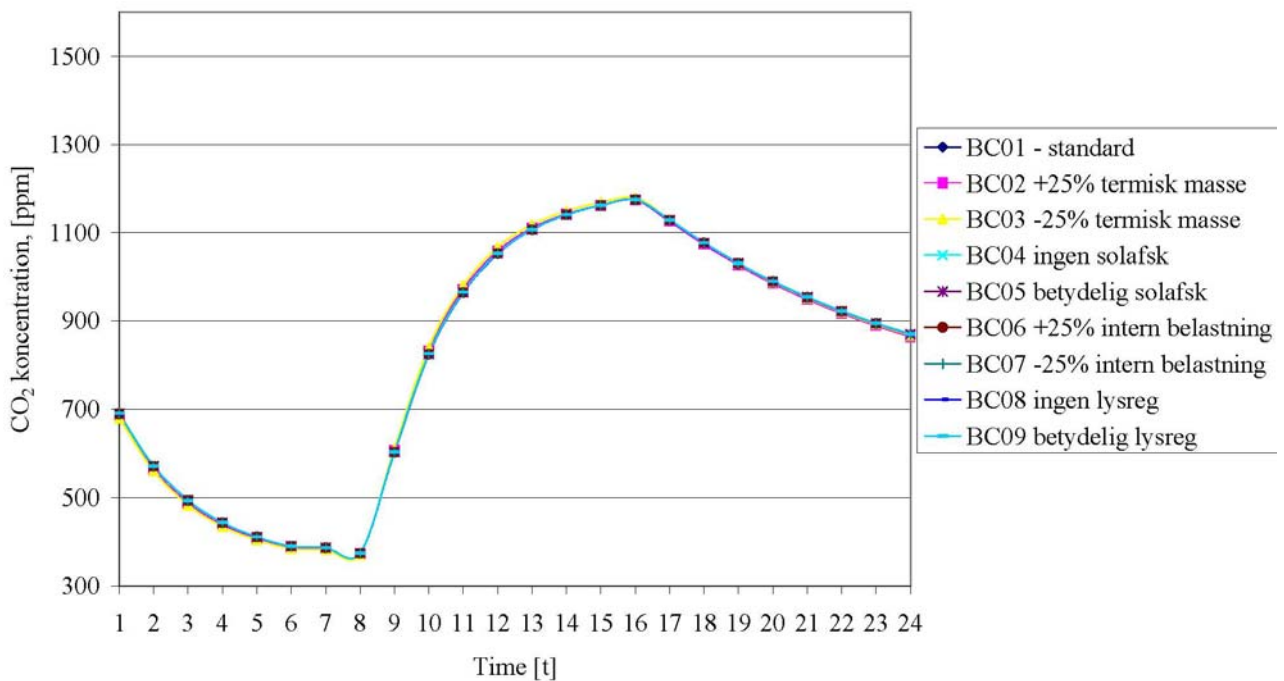
### BETA-bygning, sommercases



**Figur 73:** Udvikling af CO<sub>2</sub> koncentrationen for forventningsklasse A d. 13. juli, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 810 ppm.

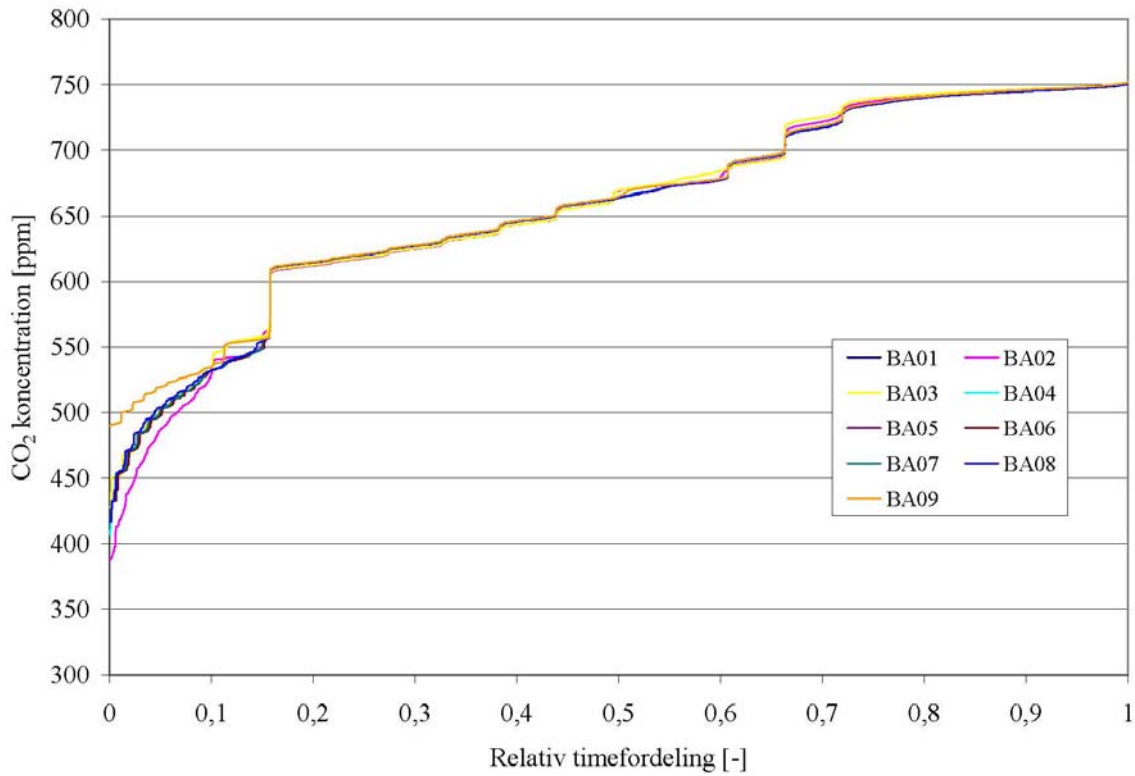


**Figur 74:** Udvikling af CO<sub>2</sub> koncentrationen for forventningsklasse B d. 13. juli, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 1010 ppm.

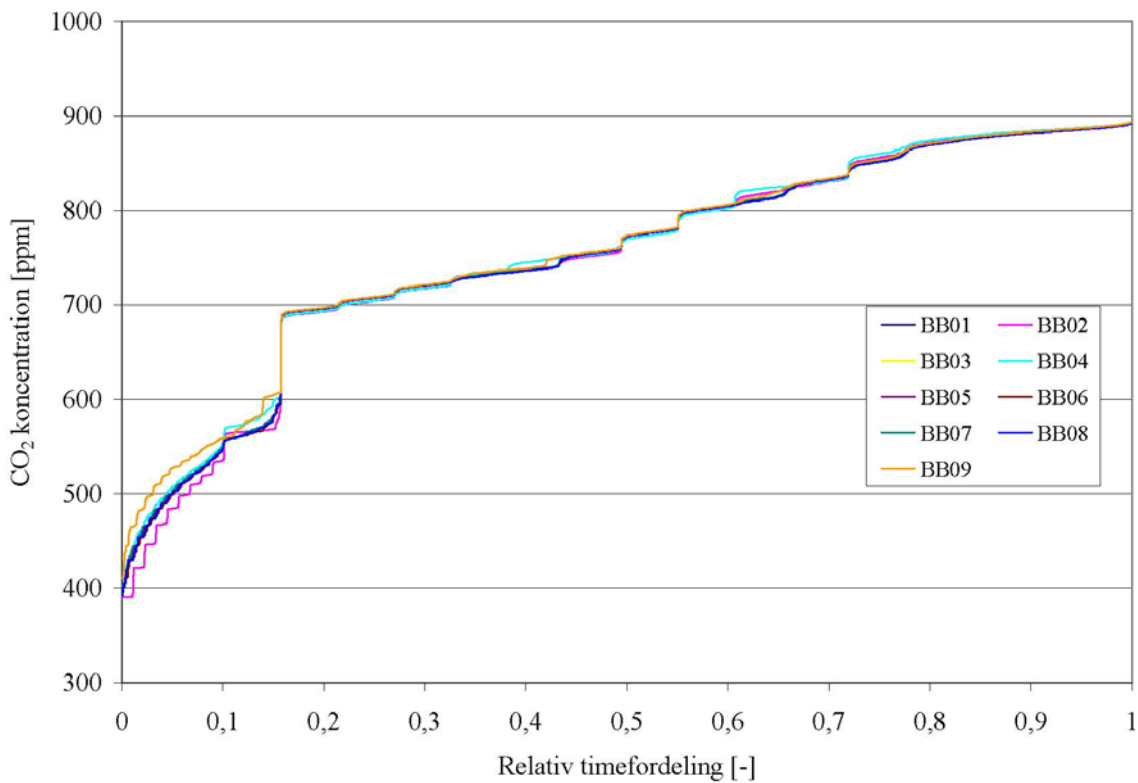


**Figur 75:** Udvikling af CO<sub>2</sub> koncentrationen for forventningsklasse C d. 13. juli, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 1540 ppm.

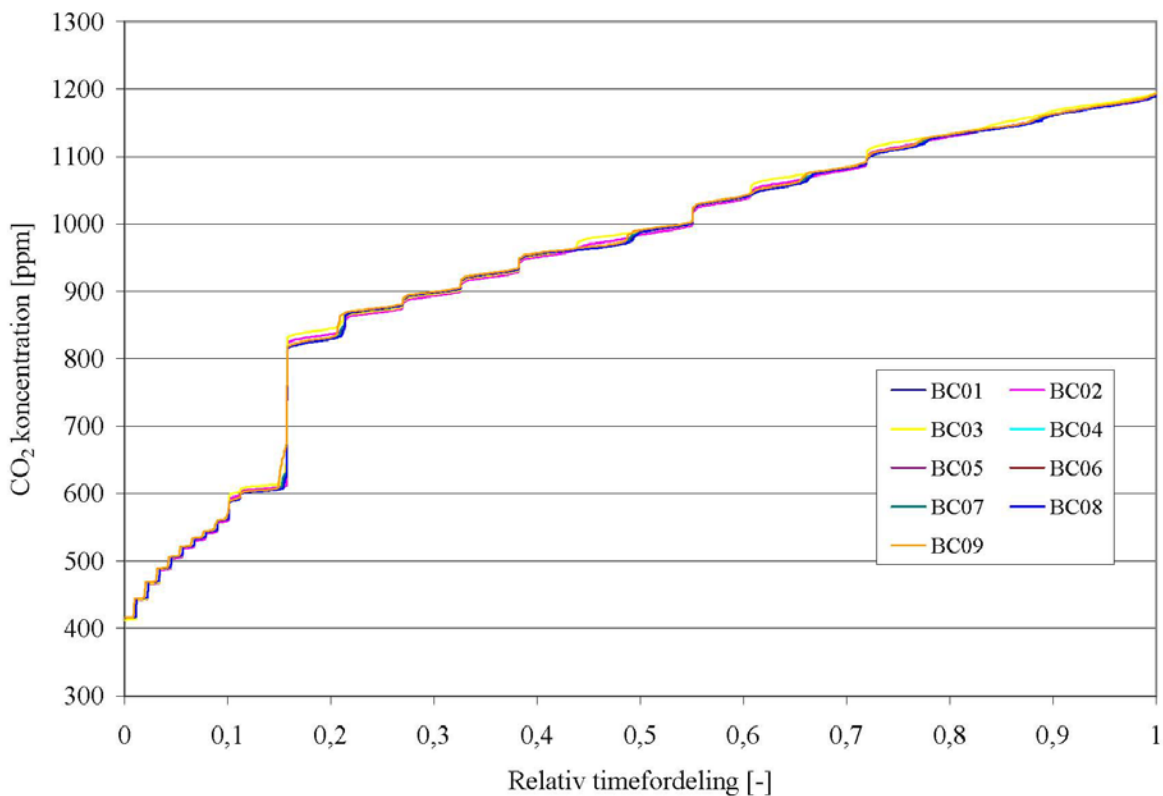




**Figur 76:** Varighedskurve for CO<sub>2</sub> koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om sommeren, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 810 ppm.

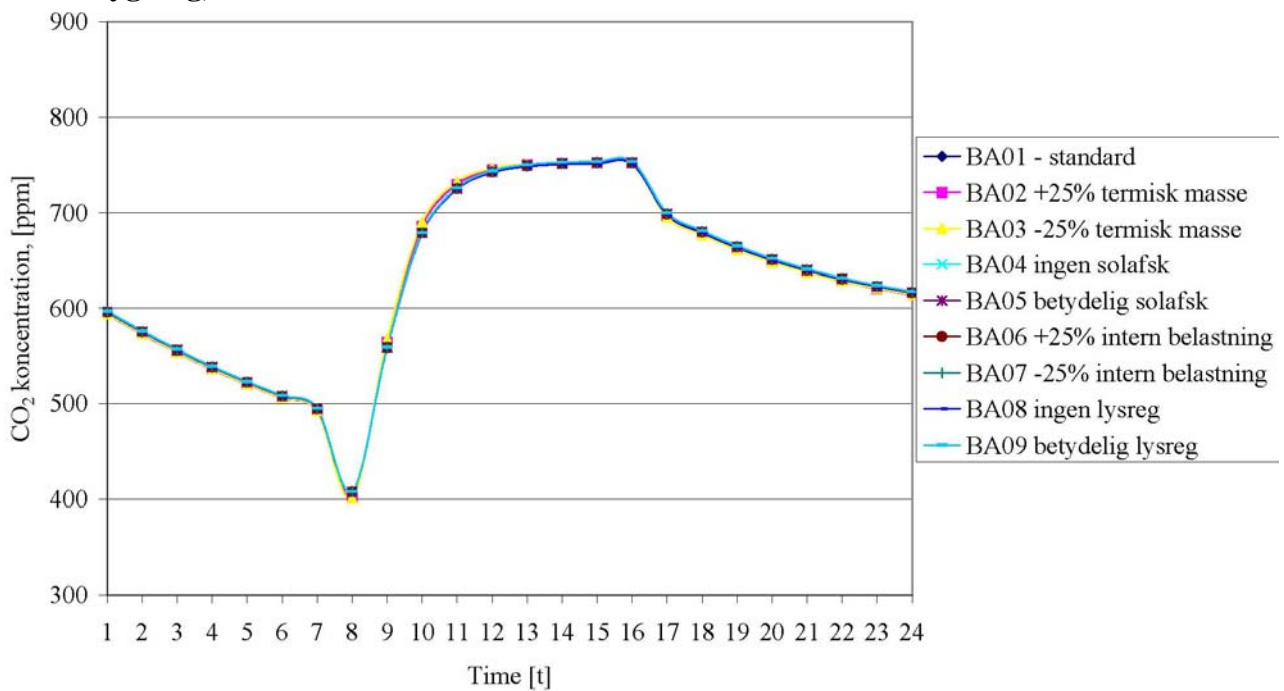


**Figur 77:** Varighedskurve for CO<sub>2</sub> koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om sommeren, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 1010 ppm.

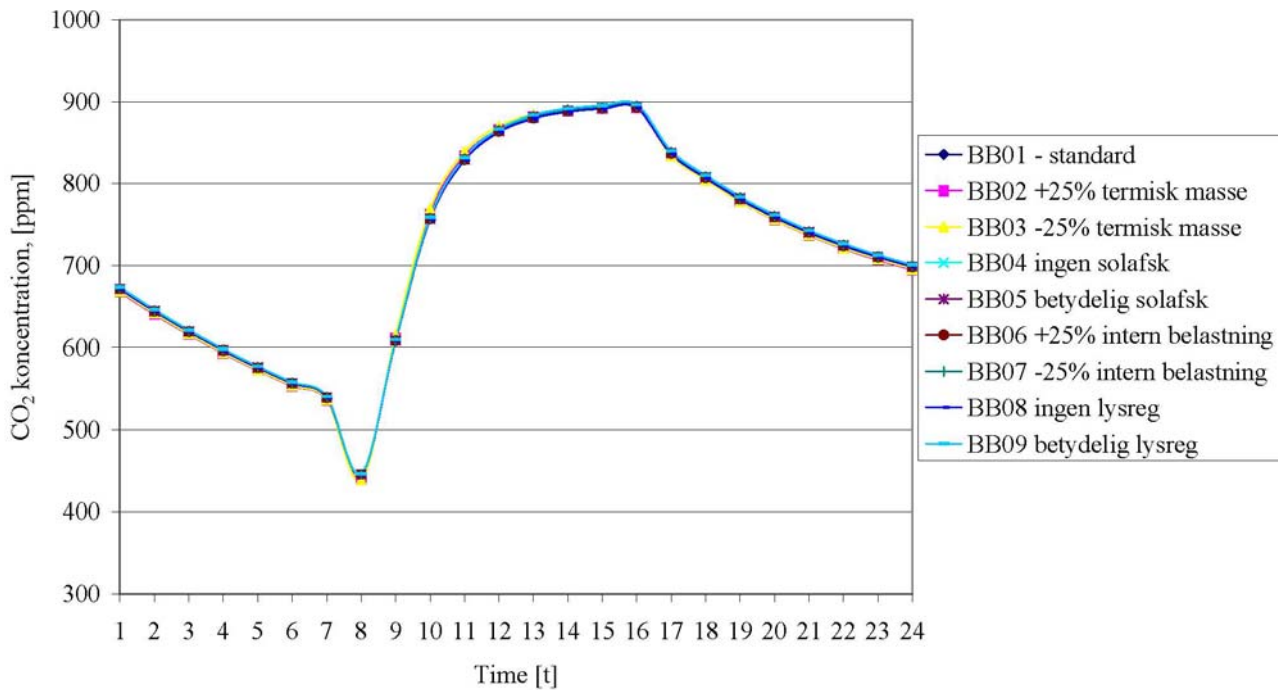


**Figur 78:** Varighedskurve for CO<sub>2</sub> koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om sommeren, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 1540 ppm.

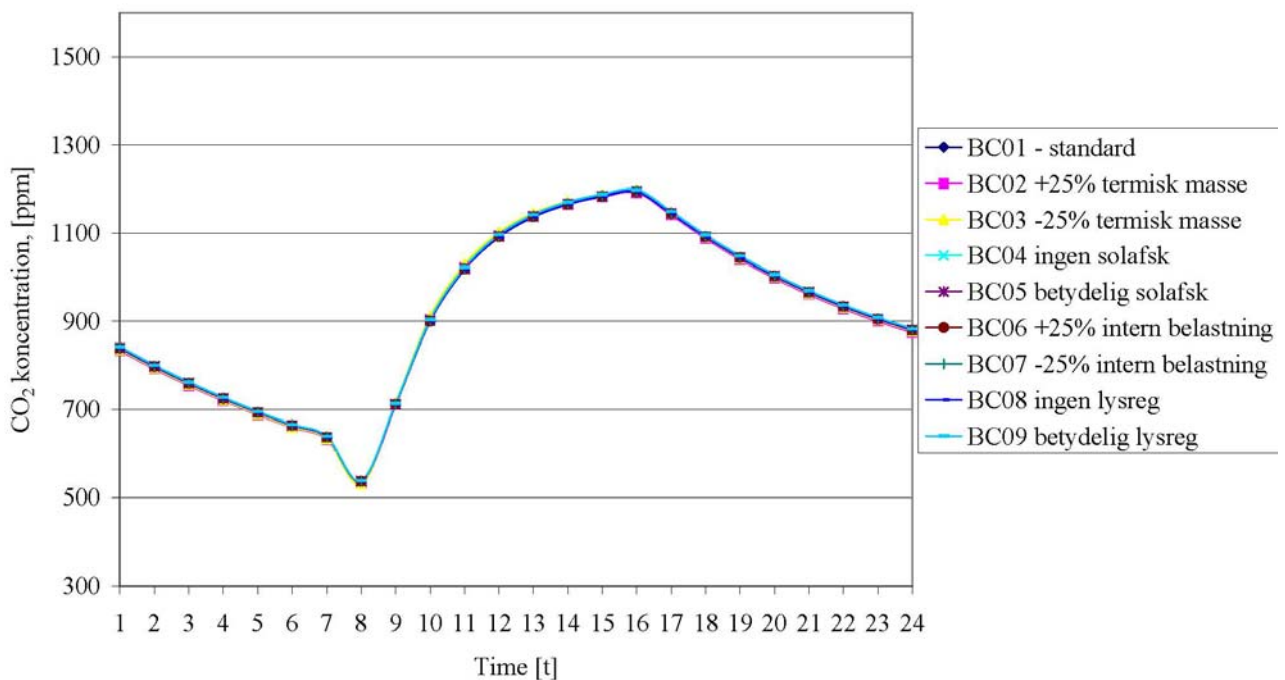
### BETA-bygning, vintercases



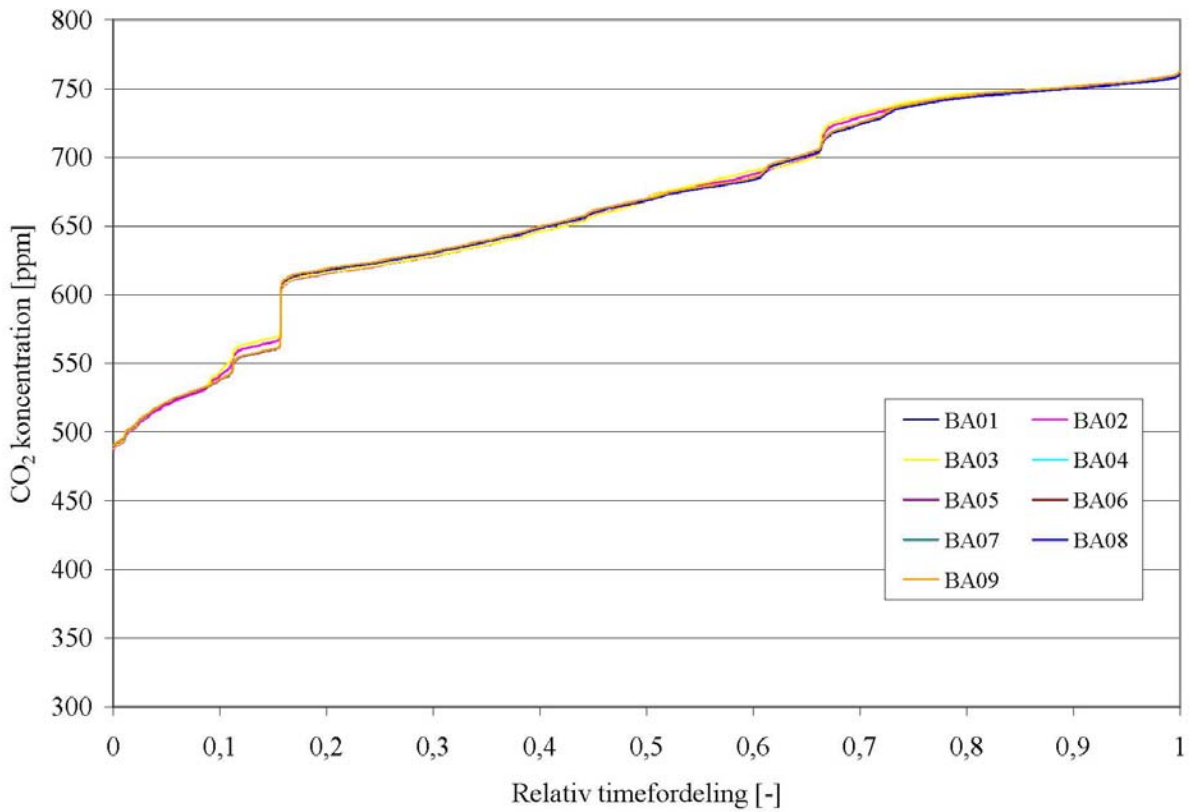
**Figur 79:** Udvikling af CO<sub>2</sub> koncentrationen for forventningsklasse A d. 29. november, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 810 ppm.



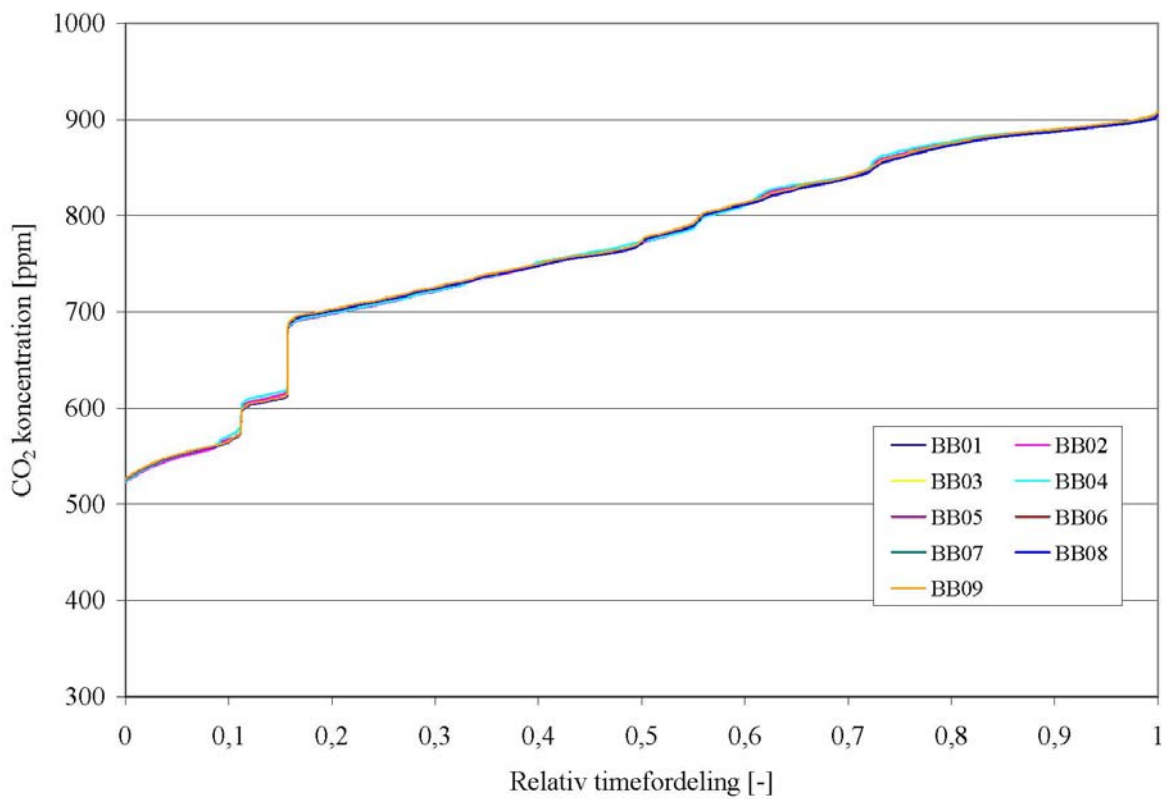
**Figur 80:** Udvikling af CO<sub>2</sub> koncentrationen for forventningsklasse B d. 29. november, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 1010 ppm.



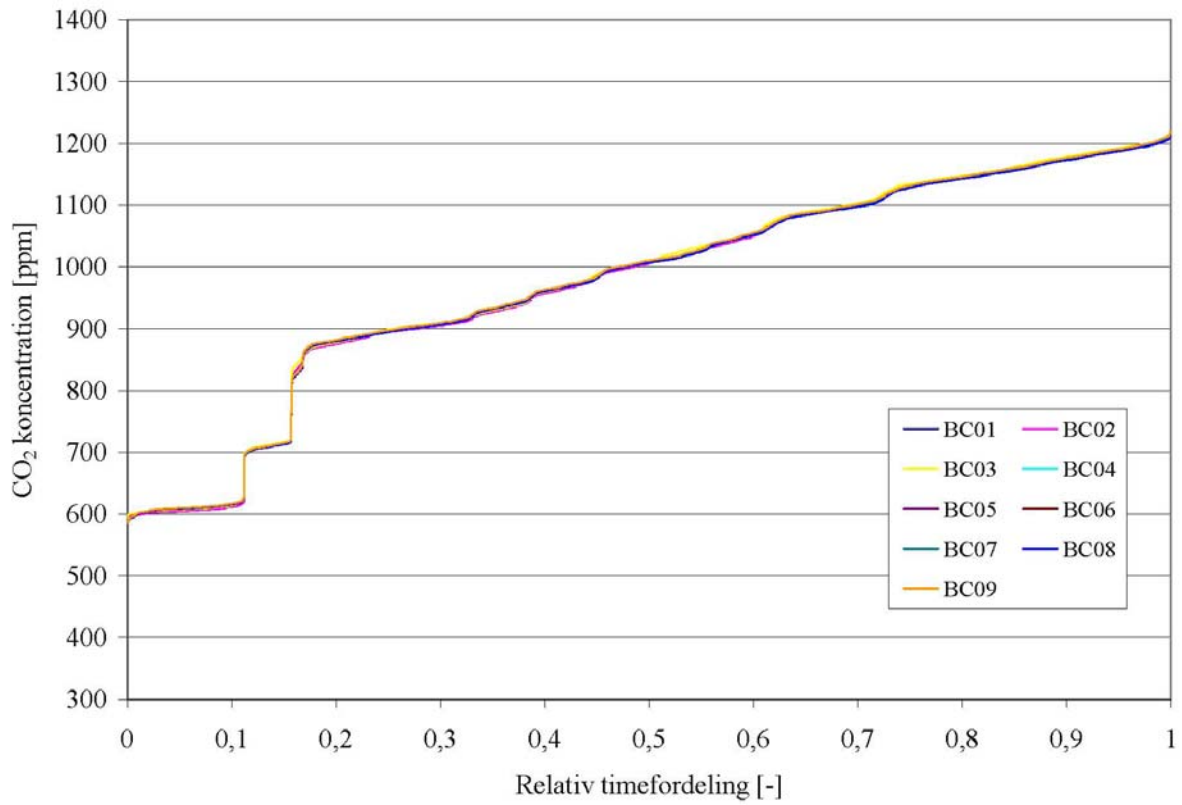
**Figur 81:** Udvikling af CO<sub>2</sub> koncentrationen for forventningsklasse C d. 29. november, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 1540 ppm.



**Figur 82:** Varighedskurve for CO<sub>2</sub> koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om vinteren, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 810 ppm.



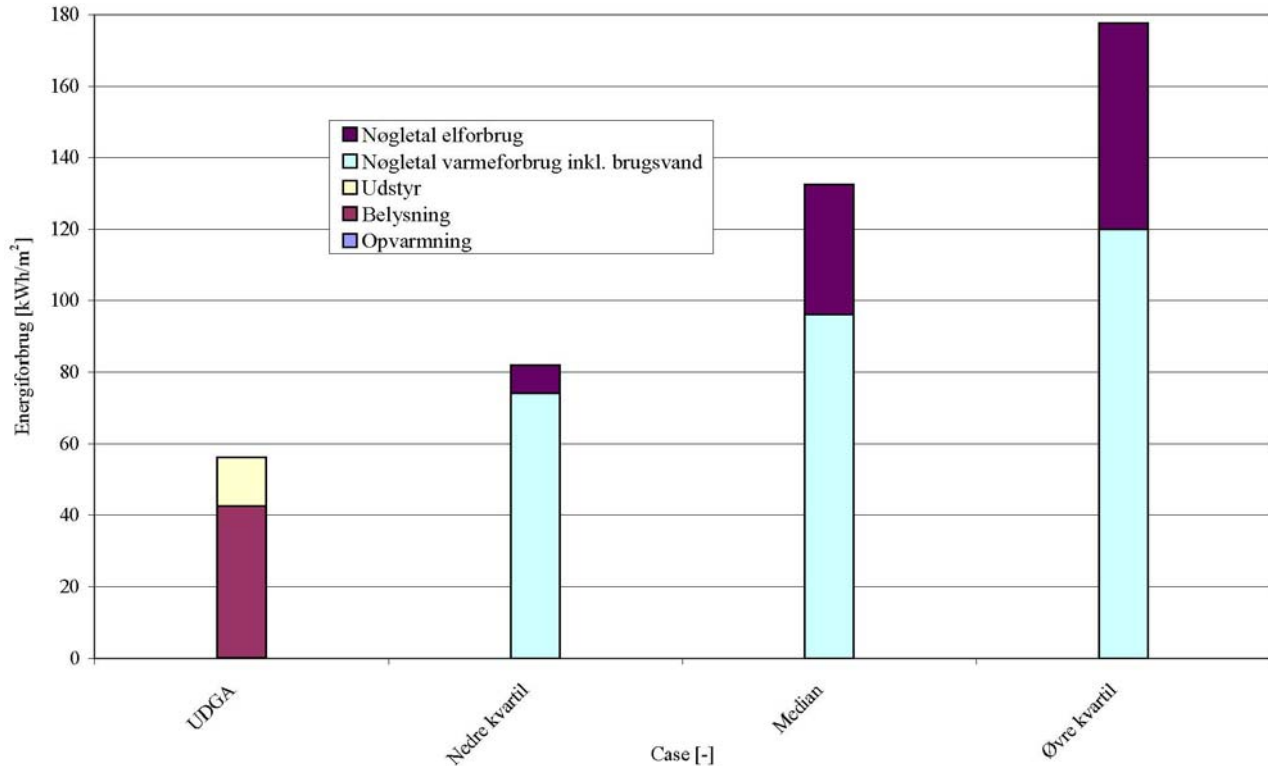
**Figur 83:** Varighedskurve for CO<sub>2</sub> koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om vinteren, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 1010 ppm.



**Figur 84:** Varighedskurve for CO<sub>2</sub> koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om vinteren, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 1540 ppm.

## H. Købehavns Energi udgangspunkt

I det følgende bilag kan resultater vedrørende bygningens energimæssige ydeevne findes samt resultater for det forventede termiske og atmosfæriske indeklima.



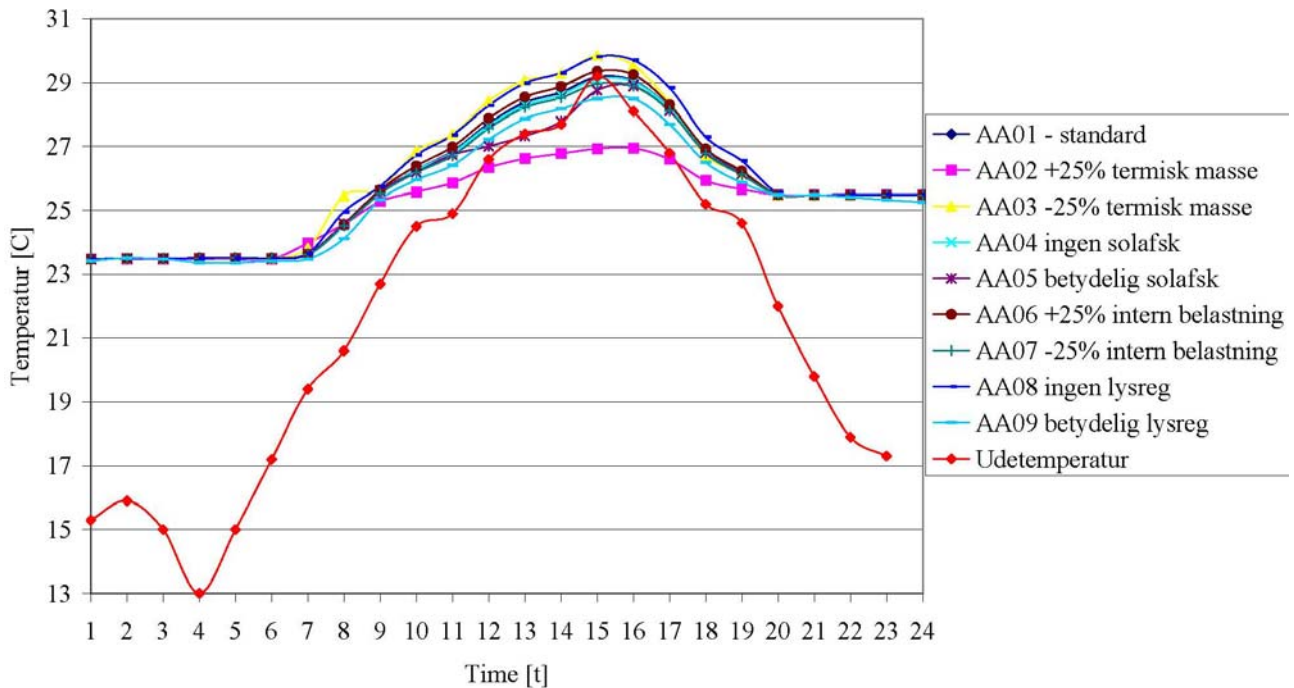
**Figur 85:** Forventet energiforbrug for case UDGA simuleret i BSim sammenlignet med nøgletal.

Et luxniveau på 210 lux og 300 lux for henholdsvis case UDGA og AB01 er den eneste forskel, hvorfor der kan forventes tilnærmelsesvis samme termiske og atmosfæriske indeklima. Der henvises derfor til case AB01 resultater vedrørende det termiske og atmosfæriske indeklima.

## I. Beregning af termisk drivkraft

I det følgende bilag kan et eksempel på et problem, der kan opstå i forbindelse med anvendelse af naturlig ventilation gennemgået. Det være sig problemstilling når udetemperaturen antager en større værdi end den indvendige operative temperatur. Dette fænomen indtræder oftest for årets varme måneder.

På Figur 86 er temperaturprofilen for d. 10. juli for forventningsklasse A gengivet for en ALFA-bygning.



**Figur 86:** Temperaturprofil for den operative temperatur d. 10. juli for forventningsklasse, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænseværdi for den operative temperatur er henholdsvis 23,5 °C og 25,5 °C.

Ud fra figuren kan det ses, at i løbet af dagen antager udetemperaturen en større værdi end den operative temperatur. Dette sker for tilnærmelsesvis for alle casene på nær AA02 og AA09. Ved bestemmelse af det tilrådelige luftskifte anvendes der følgende udtryk i BSim:

$$n_{udeluft} = n_0 + c_t(t_i - t_u)^{tp} + c_v v$$

hvor

$n_0$  - grundluftskiftet [ $\text{h}^{-1}$ ]

$t_i$  - operativ temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_u$  - udetemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]

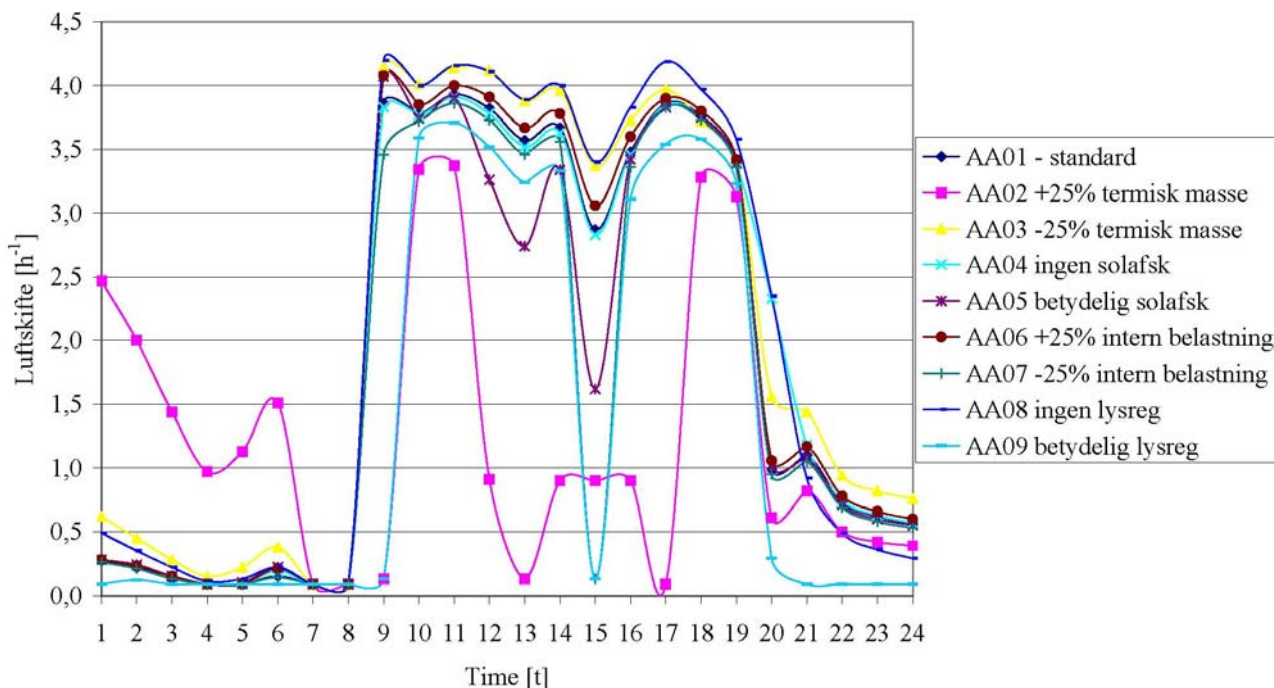
$tp$  - temperaturpotens [-]

$c_t$  - konstant, der især afhænger af rummets og åbningernes størrelse samt højdeforskellen mellem åbningerne [-]

$c_v$  - konstant, der især afhænger af bygningens tæthed, geometri, beliggenhed og terrænets topografi [-]

$v$  - vindhastighed [ $\text{m/s}$ ]

Heraf fremgår det, at hvis udetemperaturen antager en større værdi end den operative temperatur og vindhastigheden samtidig er tilstrækkelig lav kan luftskiftet antage værdien 0. Hvis dette indtræffer, vil den eneste udskiftning af luft tilskrives infiltrationen. Denne situation kan ses at indtræffe på Figur 87.

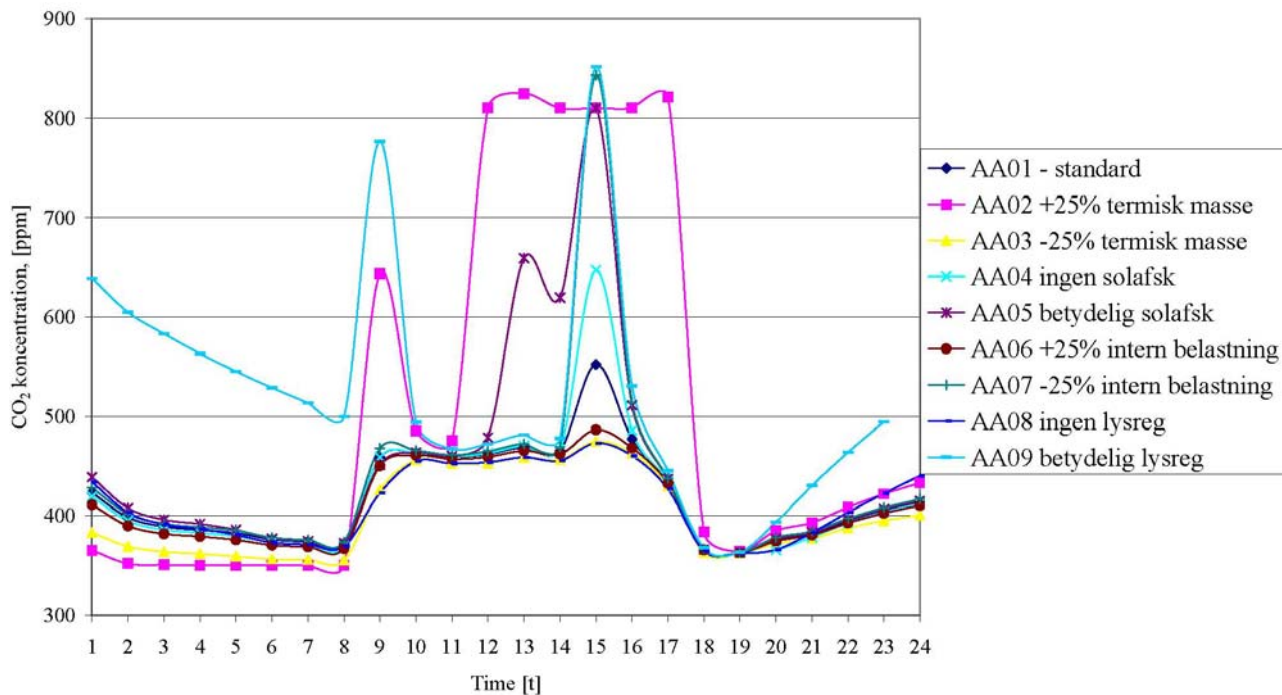


**Figur 87:** Profil af luftskiftet for forventningsklasse A d. 10. juli, ALFA-bygning

Ud fra Figur 87 kan det ses, at når udetemperaturen antager en større værdi end den operative temperatur, virker de termiske kræfter modsat af det ønskede. Bygningen bliver ikke tilført den ønskede mængde af frisk luft. Dette kan evt. medfører en forringet atmosfærisk komfort, hvor mængden af CO<sub>2</sub> overskrider den øvre tilladelige grænseværdi.

Den forventede udvikling af CO<sub>2</sub> koncentrationen i indeluften for d. 10. juli for ALFA-bygningen forventningsklasse A kan ses på Figur 88. Her kan det ses, at når luftskiftets størrelse antager en lavere værdi som følge af udetemperaturen er højere end den operative temperatur stiger CO<sub>2</sub> koncentrationen kraftigt mod den øvre tilladelige grænseværdi med overskridelse til følge.

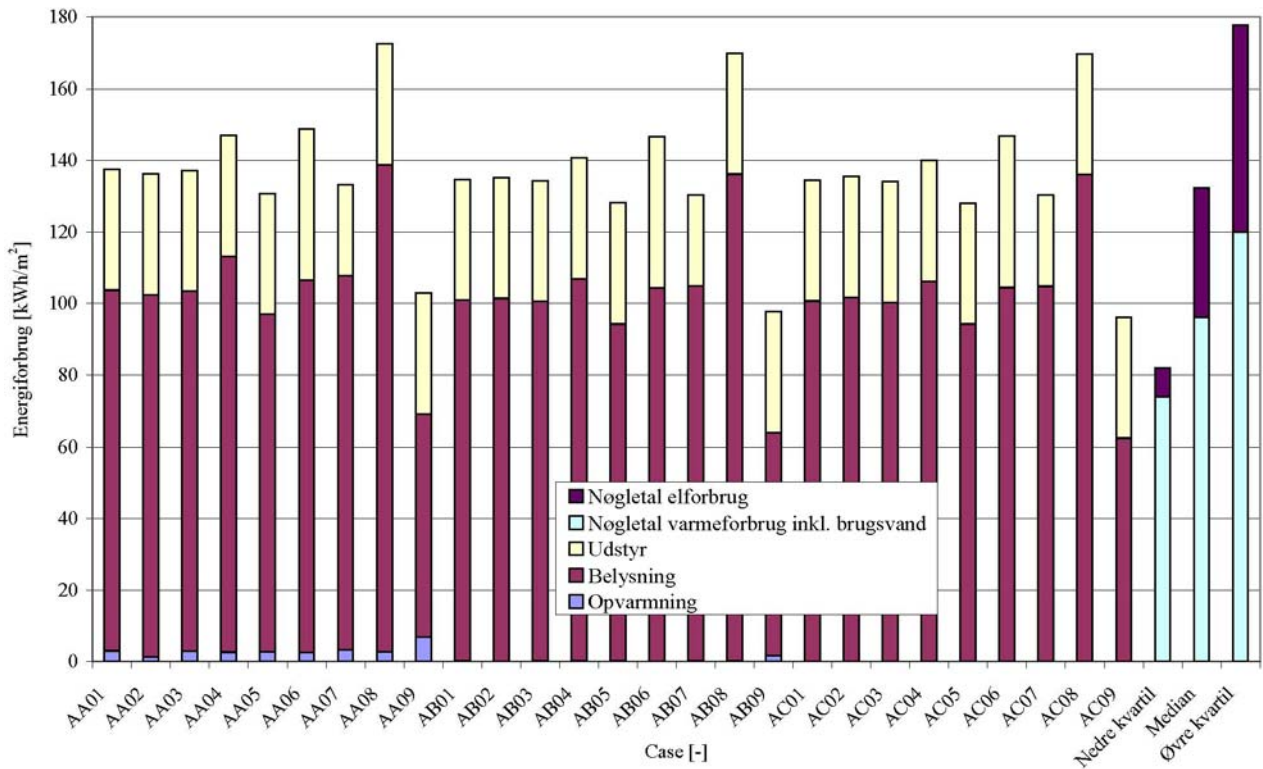




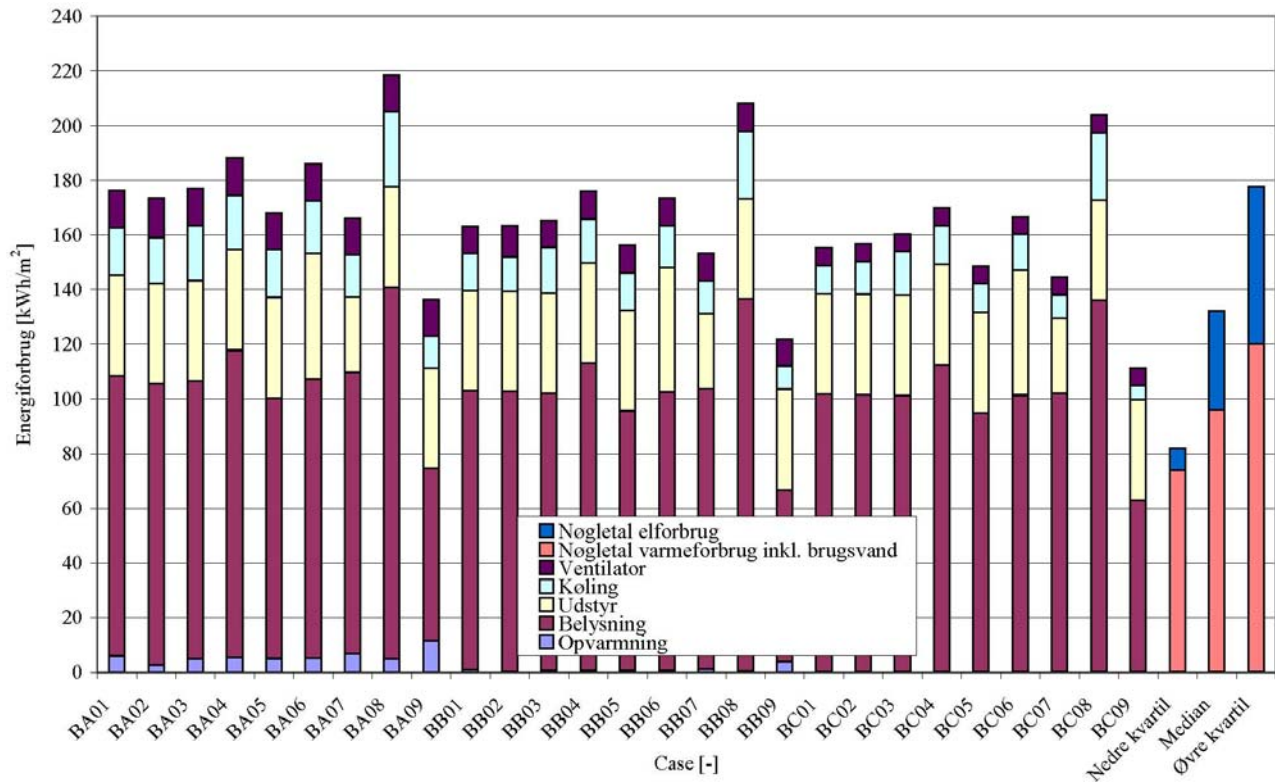
**Figur 88:** Udvikling af CO<sub>2</sub> koncentrationen for forventningsklasse A d. 10. juli, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO<sub>2</sub> koncentration 810 ppm.

## J. Beregning af primært energiforbrug

I de følgende to figurer er det primære energiforbrug beregnet jævnt for Be06 for henholdsvis ALFA- og BETA-konceptet. Til opstilling af det primære energiforbrug for BETA-konceptet er der anvendt en COP værdi på 2,5. COP værdien vil variere over året i afhængighed af udetemperaturen, hvor jo lavere temperatur medfører en højere grad af frikøling med højere COP værdi til følge.



Figur 89: Forventet primært energiforbrug i afhængighed af forventningsklasse for ALFA-bygningen simuleret i BSim.



**Figur 90:** Forventet primært energiforbrug i afhængighed af forventningsklasse for BETA-bygningen simuleret i BSim.

## **Appendiks 6:**

### **Indeklima- og energi undersøgelse af Dan- Ejendommens kontorbygning**

# Indoor Climate and Energy Analysis of an Office Building Tuborg Nord II

---

**G.Stankevica**

*Technical University of Denmark*

*International Centre for Indoor Environment and Energy*

*Department of Civil Engineering*

*Building 402, DK-2800, Kgs.Lyngby, Denmark*

*Email: [Galina.Stankevica@rtu.lv](mailto:Galina.Stankevica@rtu.lv)*

## **Abstract**

This paper describes the evaluation of the office building's performance in terms of indoor climate and energy use. The analysis is based on the field measurements of the physical parameters of the indoor environment, human response and energy consumption metered by DONG Energy Company and calculated with BSim. There was no significant matching found between the actual energy consumption and calculated with BSim, with the exception of lighting and equipment. Consequently BSim model does not correspond to the real case and needs to be calibrated. The results from the questionnaires indicated that people working in Zone B were more satisfied with the thermal environment and temperature in particular. Even though the majority of all 1<sup>st</sup> floor occupants, i.e. 66% found the temperature acceptable, only 49% felt comfortable. The operative temperature in the occupied hours was in a range of 22.5 – 27.0°C in the cooling and 22.5 – 26.0°C in the heating season. The cooling system was in operation also during the winter period. Therefore there is need to modify the setup of the HVAC system in order to avoid overheating in winter that in turn would improve the comfort level of building occupants and cut the energy expenses.

Key Words: Human Response, Energy Consumption, BSim, Thermal Environment, Operative Temperature, HVAC System

## Introduction

Most of the time people spend indoors. Therefore it is important to establish an indoor environment, which majority of the building occupants would find pleasant and stimulating to stay and work in. The indoor environment consists of four major factors; thermal, acoustic and visual environment and indoor air quality (IAQ). A person is said to be satisfied with the thermal environment when both thermal neutrality and absence of local discomfort is accomplished. The thermal sensation is affected by six indoor environmental parameters; activity level, insulation of clothing, air and mean radiant temperature, relative air velocity and humidity. The first two are influenced by the person itself, and the latter ones are parameters corresponding to the thermal environment. The indoor environment not only affects human health and thermal comfort, but also has a significant influence on the occupants' performance and productivity.

For the last few decades an increased attention has been also directed towards efficient energy use. Moreover, the European Union's directives were introduced in order to classify the buildings in accordance with their energy consumption, determining also the value of the building. Therefore the dynamic building simulation programs have become very important tools in performing energy and indoor climate audit of any building project. BSim is one of the many simulation programs available on the market and is used for calculating and analyzing indoor climate conditions and energy consumption in buildings.

In addition the proper analysis of the indoor environment and creation of a computerized model of the building cannot be performed without the field measurements of physical parameters of environment, the energy data metered and subjective response of building occupants. The measurements are most often carried out in order to monitor the operation of the systems, in other words, to see if something is "wrong". However this can be verified only when the standards and other guidelines or exposure-response relations, e.g. subjective evaluations by occupants are available. Therefore both the physical and subjective measurements are very important when evaluating and consequently improving the performance of building services systems, so that the intended comfort level is achieved with the least possible energy expenses.

## Objective

The main objectives of this work are to assess the thermal environment based on the field measurements and human response, and to investigate the building's performance in terms of energy consumption.

## Methodology

The evaluation of the building's performance is based on the field measurements of the physical parameters of the indoor environment, human response and energy consumption metered by DONG Energy Company. The timeline of the period when the measurements were carried out and data collected is given in Figure 1.

	2007						2008									
	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	March	April	May	June	July	Aug	Sep	Oct
Questionnaires									x							
Short term									x						x	
Long term																
Weather																
Cooling, heating, installations																
Lighting and equipment																

Figure 1: The timeline of the measurements [1]

During the period of 9 months, i.e. from 5<sup>th</sup> February to 28<sup>th</sup> October 2008, with the exception of 11<sup>th</sup> to 25<sup>th</sup> June, the measurements of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), relative humidity and room temperature were carried out. These physical parameters of the indoor environment were recorded by HOBO loggers with 1 hour time step. The measurement locations were chosen close to the sensors of the respective HVAC system in three zones B, C and D according to the vertical division of the 1<sup>st</sup> floor for ventilation system 1, 2 and 3 (see Figure 2).

Zone B is facing north-east and is a part of the Ventilation System 1. Zone C is located to the south and is a part of the Ventilation System 2. Zone D is facing north-west and corresponds to the Ventilation System 3.

The more detailed snapshot measurements of the indoor environment parameters such as the relative air velocity, operative and air temperature etc. were done on 6<sup>th</sup> March and 11<sup>th</sup> September 2008, corresponding to the winter and summer days respectively.

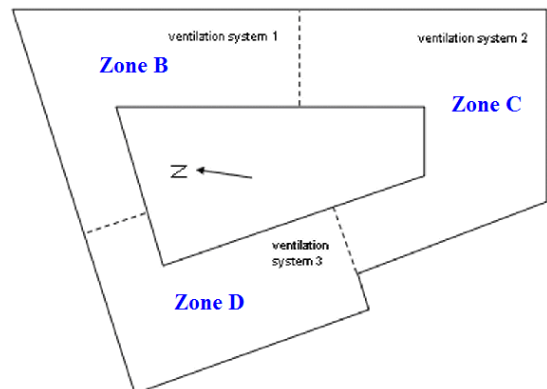


Figure 2: Zones B, C and D according to the ventilation systems 1, 2 and 3

In order to find out, how the employees actually feel in the present environment, they were asked to fill in the questionnaires on 6<sup>th</sup> March. The total number of people interrogated on the 1<sup>st</sup> floor was 65 persons. The questionnaires included questions about the indoor climate and Sick Building Syndrome (SBS). However in this paper only the human response on thermal environment, i.e. thermal sensation, thermal environment, preferred temperature change and acceptability, is analyzed. The percentage of people voting for the previously mentioned four categories was then calculated for each of three zones and 1<sup>st</sup> floor in general.

The accumulated reading from the electricity meters as hourly values for cooling and technical installations and hourly averages for heating and lighting/equipment was received from Dong Energy. The energy for the operation of the HVAC system was metered between 16<sup>th</sup> October 2007 and 30<sup>th</sup> April 2008. The energy consumption for the equipment and lighting purposes was metered from 1<sup>st</sup> April 2008 to 31<sup>st</sup> August 2008. The energy used was divided in three groups; cooling, heating and technical installations. The cooling includes HVAC system, e.g. cooling coils, and chilled beams. Energy for heating purposes comes from district heating grid and is used for operation of the heating coils, radiators and convectors. The technical installations include the operation of ventilation fans, control and automation of the HVAC system, e.g. adjustment of the dampers etc. The actual energy consumption of the 1<sup>st</sup> floor was later compared to the energy calculated with dynamic building simulation software BSim for ALFA and BETA cases for further model calibration. The BETA corresponds to the very narrow temperature control interval of 21.0-23.0°C and ALFA stands for the temperature range of 20.0-25.0°C.

Besides the indoor environment parameters the outdoor conditions were measured as well. The detailed measurements of air temperature, relative humidity, solar radiation, wind direction and speed were carried out between 4<sup>th</sup> July 2007 and 6<sup>th</sup> May 2008.



## Human Response

### Thermal Sensation

The distribution of occupants' votes on the 7-point thermal sensation scale is given in Figure 3.

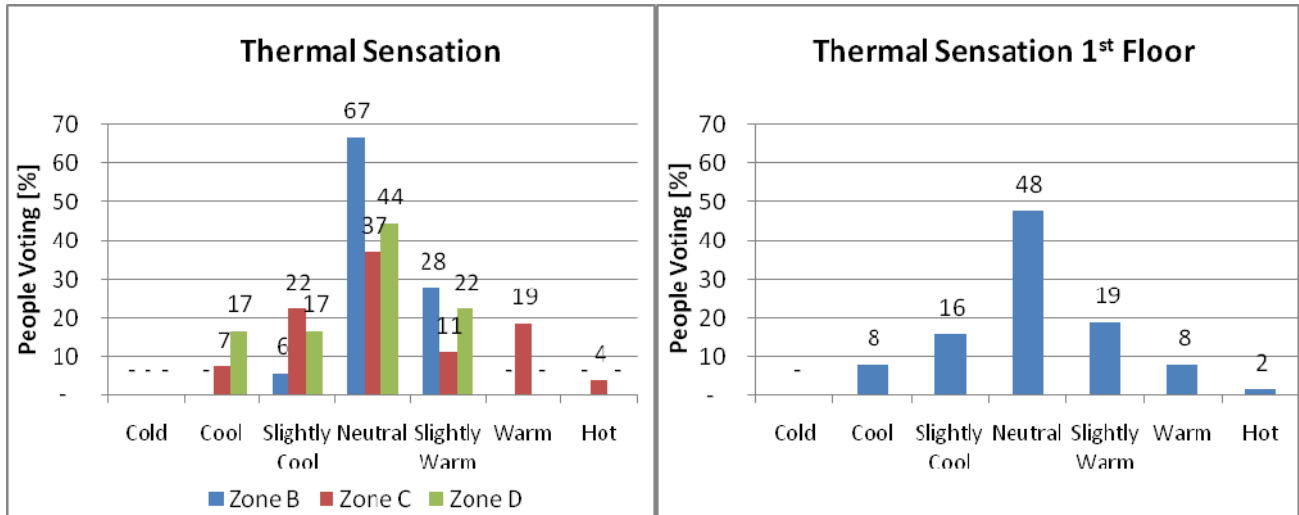


Figure 3: Thermal sensation in zones B, C and D and on 1<sup>st</sup> floor in general

Figure 3 shows that none of the building occupants felt cold. The majority of the occupants reported a thermal sensation as being neutral (especially in Zone B, i.e. 67%) indicating that people felt thermally comfortable, i.e. neither cool nor warm. Zone C is facing south and it could be a reason why 34% of people had a thermal sensation of being warmer and even hot in comparison with neutral. On the opposite, people working in Zone D, that is located north-west, felt more on the cool than warm side (34%>22%).

In general, almost 50% of the 1<sup>st</sup> floor occupants had a neutral thermal sensation. However, the distribution of votes shows that almost equal number of people (24 and 29%) felt on the cool and warm sides.

### Thermal Environment

The distribution of occupants' votes on the 4-point thermal comfort scale, ranging from 'Just Comfortable to Clearly Comfortable and Just Uncomfortable to Clearly Uncomfortable', is given in Figure 4.

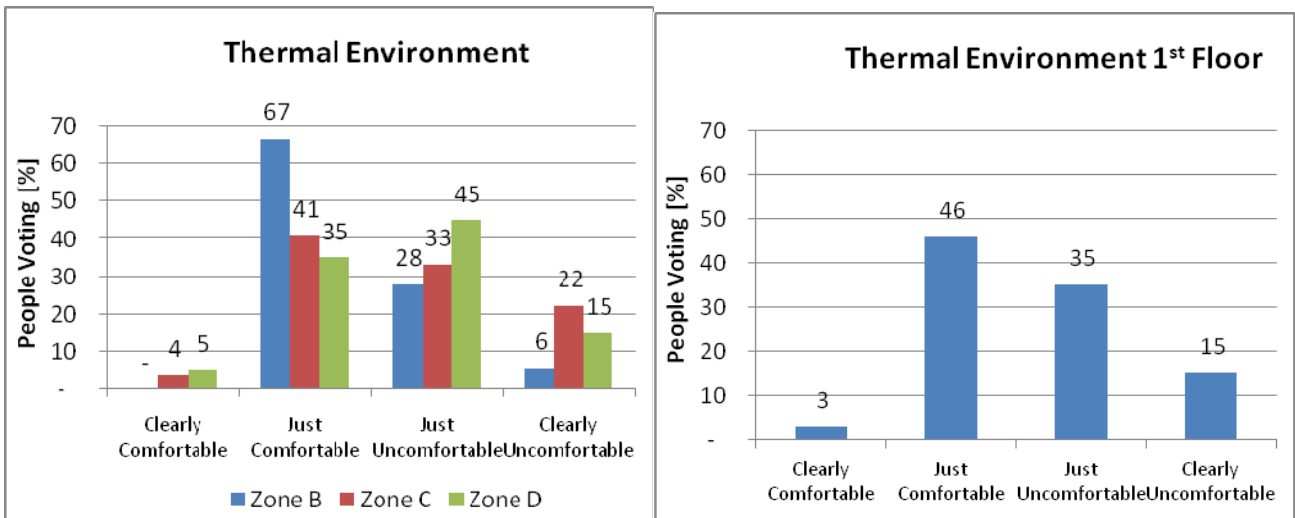


Figure 4: Thermal environment in Zones B, C and D and on 1<sup>st</sup> floor in general

Even though people working in Zone B found the thermal environment more comfortable than in zones C and D, none of the occupants in this zone felt 'Clearly comfortable'. The occupants in Zones C and D felt more uncomfortable than comfortable.

Only 3% of all 1<sup>st</sup> floor occupants were entirely satisfied with the thermal environment reporting 'Clearly Comfortable'. However, half of people found the thermal environment to be more uncomfortable.

### Preferred Temperature Change

The distribution of occupants' votes on the 3-point scale of preferred temperature change is given in Figure 5.

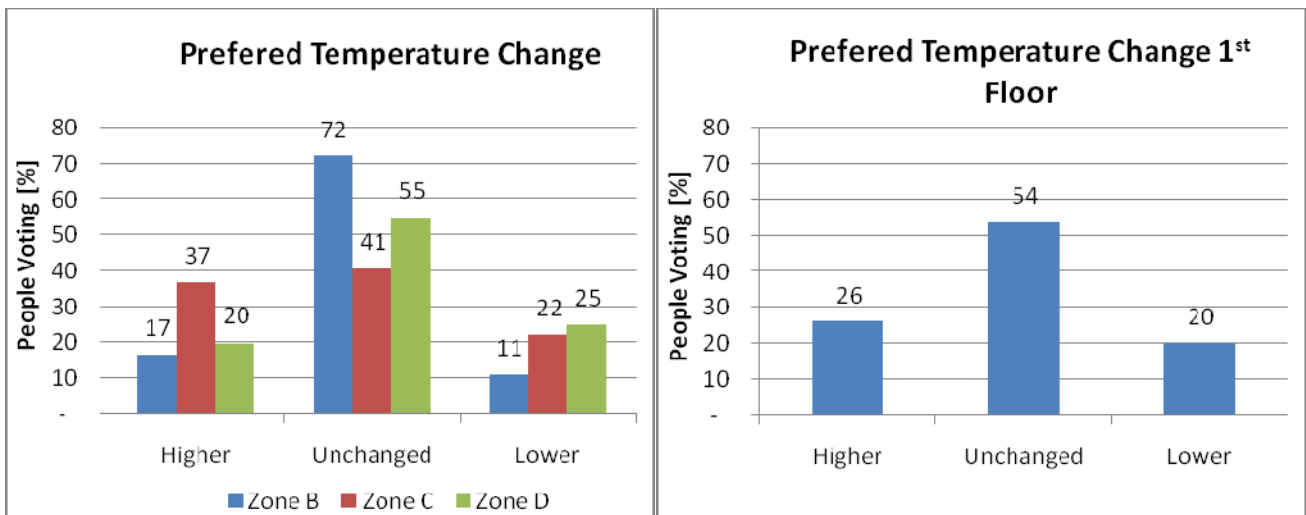


Figure 5: Preferred temperature change in Zones B, C and D and in 1st floor in general

Figure 5 shows the percentage of people wanting higher, no change and lower room temperature. 72% of people working in Zone B are entirely satisfied with the indoor temperature and do not want any changes. The 37% of occupants in Zone C would like to have a higher room temperature. On the opposite, more occupants of Zone D, i.e. 25% would prefer lower temperature. This however does not really correspond with the results given for thermal sensation, where more people, i.e. 34% felt on the cool side compared to the 29% on the warm side (see Figure 3).

In total more than half of the respondents, i.e. 54% would like to keep room temperature unchanged. More people would prefer to have a higher than lower room temperature (26%>20%).

### Temperature Acceptability

The distribution of occupants’ votes on the 2-point (acceptable/unacceptable) temperature acceptability scale is given in Figure 6.

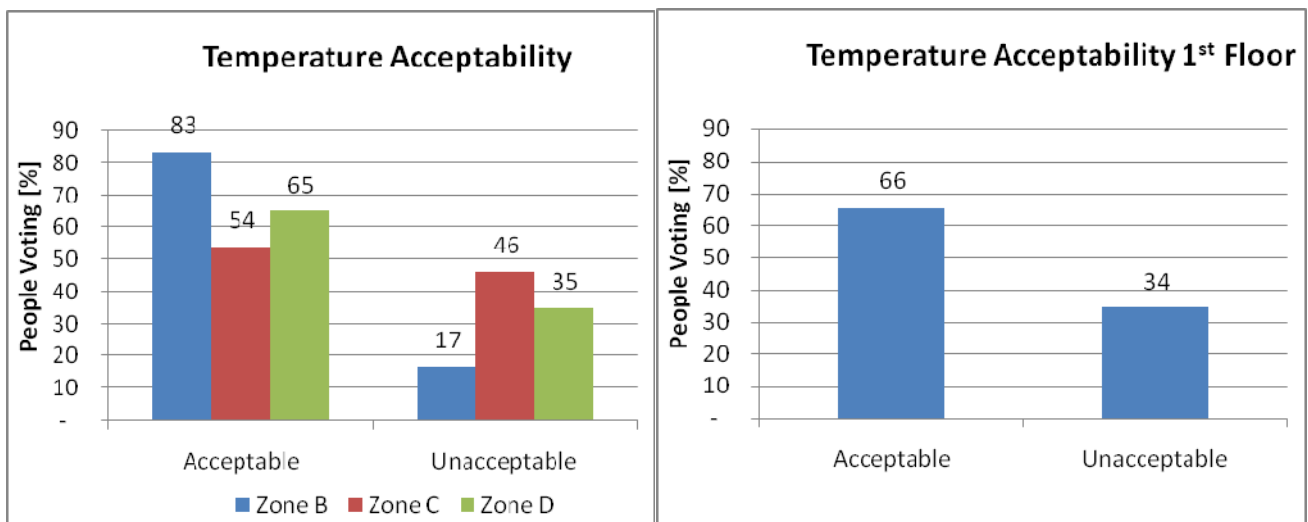


Figure 6: Temperature acceptability in Zones B, C and D and in 1st floor in general

Figure 6 shows that once again people working in Zone B are more satisfied with the temperature, reporting the highest acceptability of 83% compared to people in Zones C and D. The votes in Zone C were almost equal (54 and 46%), indicating that only half of the occupants found the room temperature to be acceptable. This high unacceptability with the room temperature also corresponds to the occupants’ response about their thermal sensation being warm or even hot (see Figure 3).

On the 1<sup>st</sup> floor in general, the majority of occupants, i.e. 66% found the room temperature to be acceptable.

## Physical measurements

### Operative Temperature

The histograms of the operative temperature during the cooling (summer) and heating (winter) periods in the occupied hours are given in Figure 7.

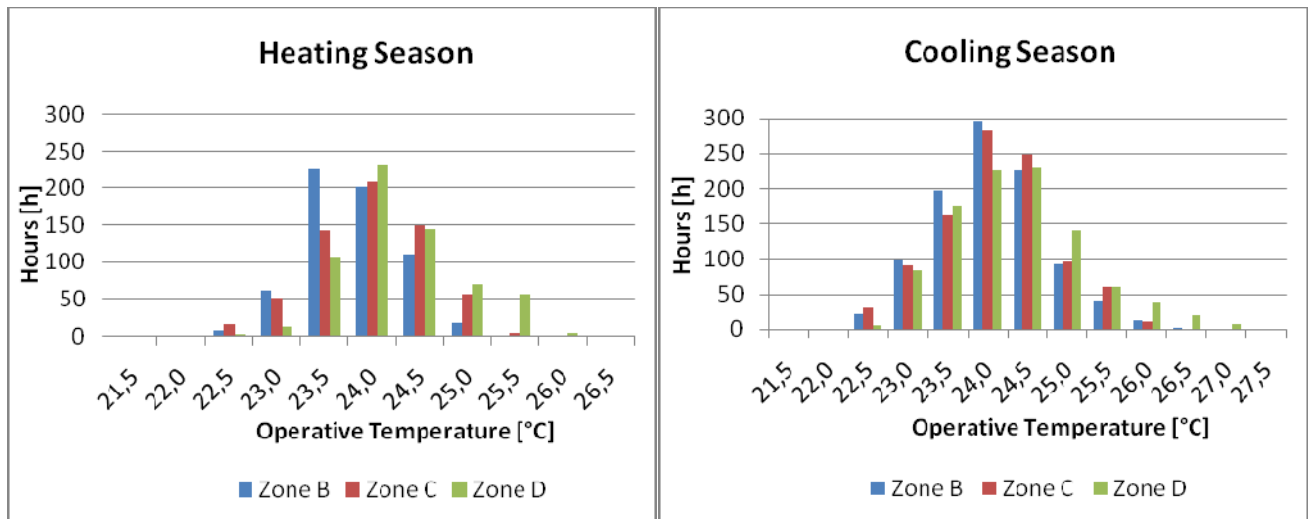


Figure 7: Histograms of the operative temperature during the cooling and heating season from 9:00 to 17:00

From Figure 7 it can be seen that the highest operative temperature in both winter and summer periods was measured in Zone D, indicating that overheating occurs in this area. This also corresponds to the human response of Zone D occupants, stating that they would prefer lower temperature (see Figure 5). The temperature varies less (with a magnitude of 2.5°C) in Zone B compared to the other zones. Moreover, the temperature in this zone is generally lower in both summer and winter periods than in Zones C and D. This might be the reason why people working in Zone B are more satisfied with the thermal environment and temperature in particular (see Figure 3-6).

The operative temperature on the 1<sup>st</sup> floor is in a range of 22.5 – 26.0°C in the heating season and 22.5 – 27.0°C in the cooling season. In all three zones, most of the hours in both periods, the temperature is kept in a range of 23.5 – 24.5°C. According to MPC report [2] the indoor temperature should be between 20.0 and 24.0°C during the winter and in a range of 23.0 to 26.0°C during the summer period. Additionally, in the offices in the period June-August the temperature must not exceed 26.0°C and 27.0°C for more than 110 and 30 hours respectively. The results from measurements indicate that the temperature in the cooling season for approximately 30 hours is lower than the required 23.0°C. The temperature in Zone D exceeds 26.0°C and is below 27.0°C for 27 hours. Therefore this increase is in the allowed range mentioned before. During the heating period, temperature does not comply with the requirement of 20.0-24.0°C and therefore the operation of the HVAC system should be reviewed in order to lower the temperature.

The operative temperature distribution for the 1<sup>st</sup> floor in accordance with the standard EN15251 [3] is given in Table 1.

**Table 1: Quality of thermal environment in % of time in four categories**

	Percentage [-] in Winter period					Percentage [-] in Summer period			
	I (21.0 - 23.0°C)	II (20.0 - 24.0°C)	III (19.0 - 25.0°C)	IV (Other)		I (23.5 - 25.5°C)	II (23.0 - 26.0°C)	III (22.0 - 27.0°C)	IV (Other)
Zone B	11.3	79.2	100.0	0.0	Zone B	86.2	97.5	100.0	0.0
Zone C	11.0	66.8	99.4	0.6	Zone C	86.2	96.8	100.0	0.0
Zone D	2.5	56.3	90.3	9.7	Zone D	84.2	96.7	100.0	0.0
1st Floor	<b>8.3</b>	<b>67.4</b>	<b>96.6</b>	<b>3.4</b>	1st Floor	<b>85.5</b>	<b>97.0</b>	<b>100.0</b>	-

From Table 1 it can be seen that all zones show better performance in the summer period, where most of the time the operative temperature is in a range of 23.5 – 25.5°C corresponding to the highest category I. In summer period none of the zones and consequently the entire 1<sup>st</sup> floor has never a category lower than the permissible III, indicating that the cooling system is working properly and is able to cover the internal and external heat loads.

During the winter period the temperatures most of the time are higher than 23.0°C. Zone D can be considered as the most critical zone, where almost 10% of time the temperature is higher than 25.0°C. The overheating occurs probably because of the high internal heat gains, e.g. from people and office equipment. On the contrary, the temperature in Zone B always complies with category III. When considering the entire performance of the 1<sup>st</sup> floor, the temperature is 3.4% of time outside the range for category III.

## Energy

### Actual Energy Consumption

The actual energy consumption of the HVAC system on the 1<sup>st</sup> floor is given in Figure 8.

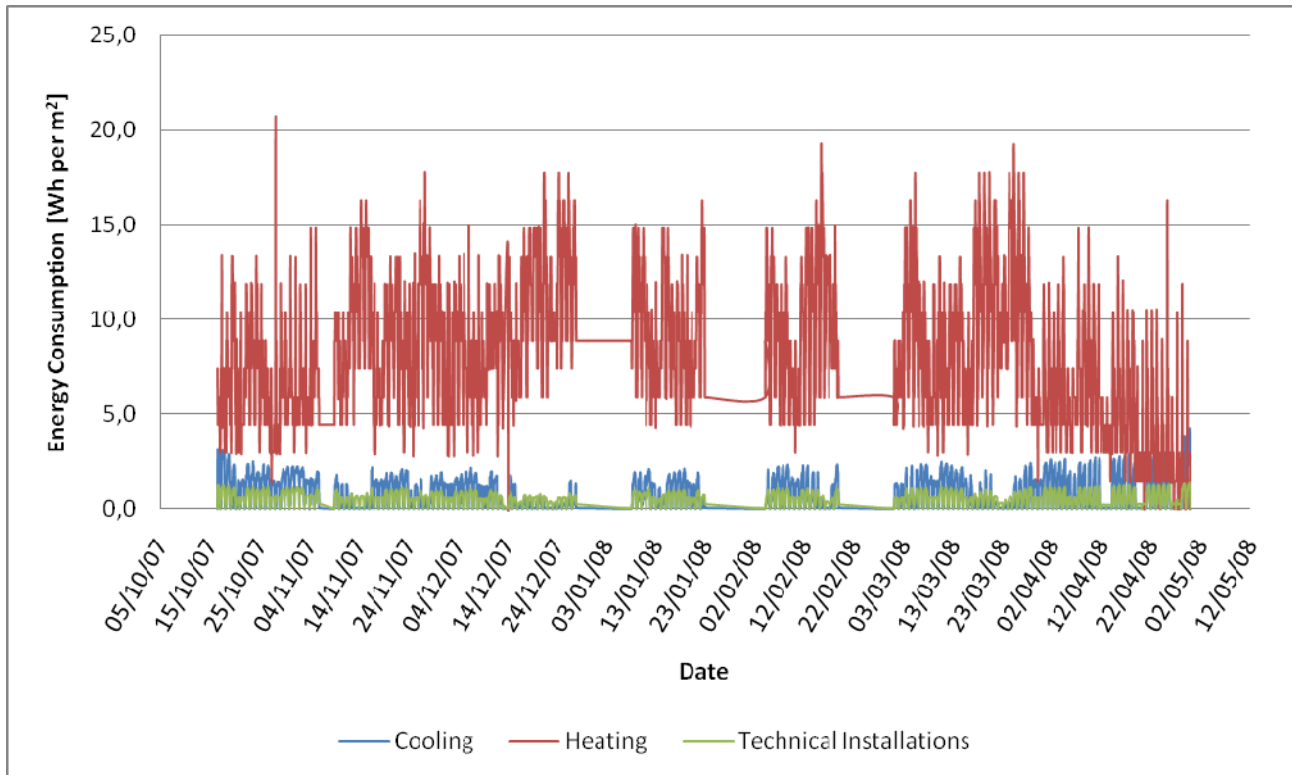


Figure 8: Energy consumption for the HVAC system

The energy consumption in Figure 8 is given for the winter period from 16<sup>th</sup> October 2007 to 30<sup>th</sup> April 2008. Therefore the highest energy consumption was metered for the heating purposes (on average 8.0 Wh per m<sup>2</sup> and for the whole period 30.0 kWh per m<sup>2</sup>). However, during this period the cooling system was also running with the average energy consumption of 1.0 Wh per m<sup>2</sup>. The chilled beams were operating in order to lower the room temperature because of the high heat gains, e.g. from people and equipment and probably also to some extent from solar radiation. Since the energy for cooling includes also the energy for the operation of the cooling coil of ventilation system, it means that the inlet air was first pre heated and then later cooled down before supplied to the room. This indicates that the HVAC system is not working properly and its setup needs to be modified. The energy used for the technical installations, e.g. operation of the fans, control of dampers etc., was approximately half the cooling energy consumption.

## Outdoor and Indoor temperature, HVAC systems' energy consumption

The outdoor and indoor temperatures as well as the energy consumption for the operation of the HVAC system are given in Figure 9.

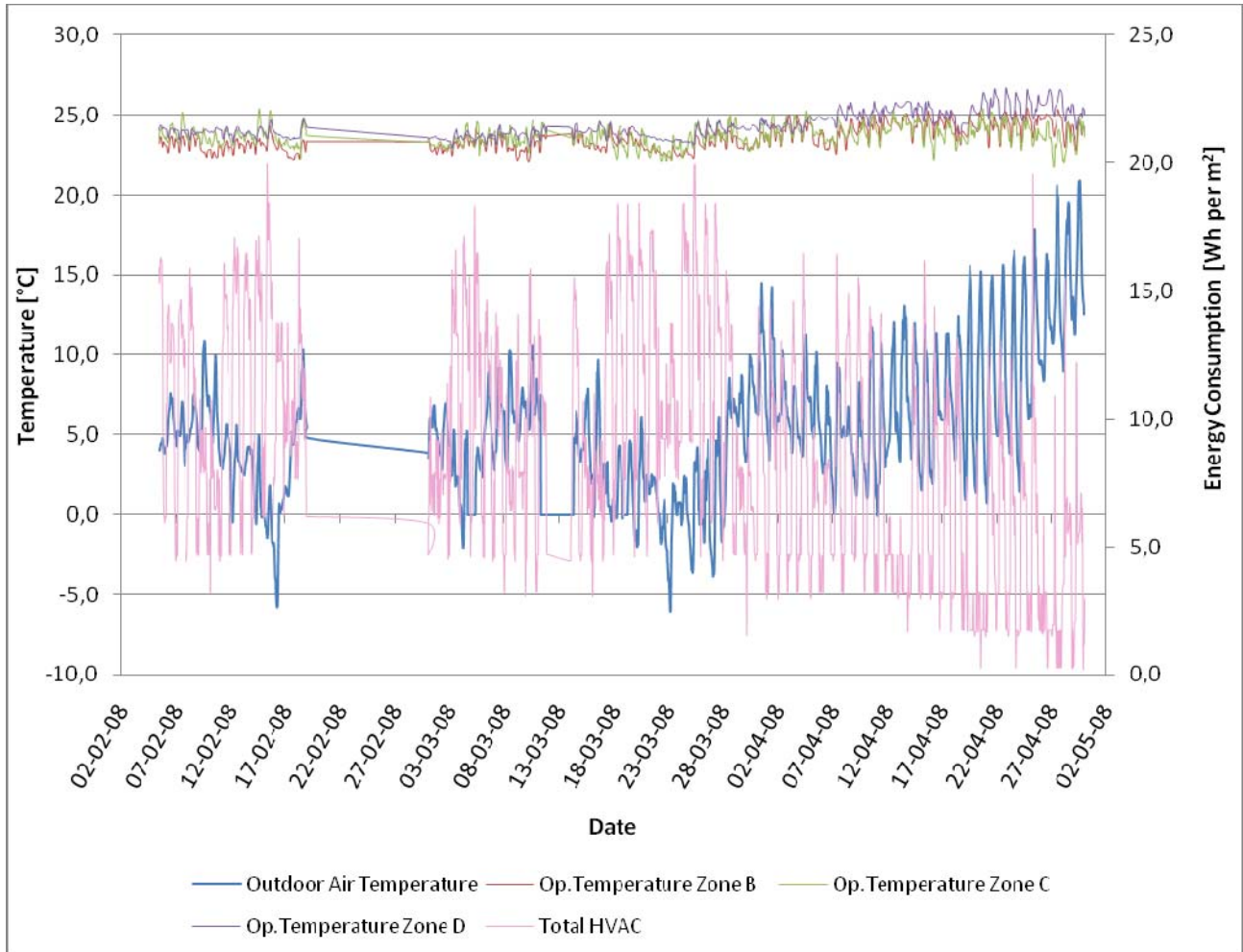


Figure 9: The outdoor and indoor temperatures and the total energy consumption for the HVAC system

During the given period the operative temperature on the 1<sup>st</sup> floor varies with in a magnitude of 4.5°C, i.e. 22.5 – 27.0°C. The indoor temperature increases with the higher outdoor temperature. This consequently results in the lower energy consumption, especially for the heating system.

## Comparison with BSim

### Lighting and Equipment

The energy consumption for the equipment and lighting purposes is given in Figure 10.

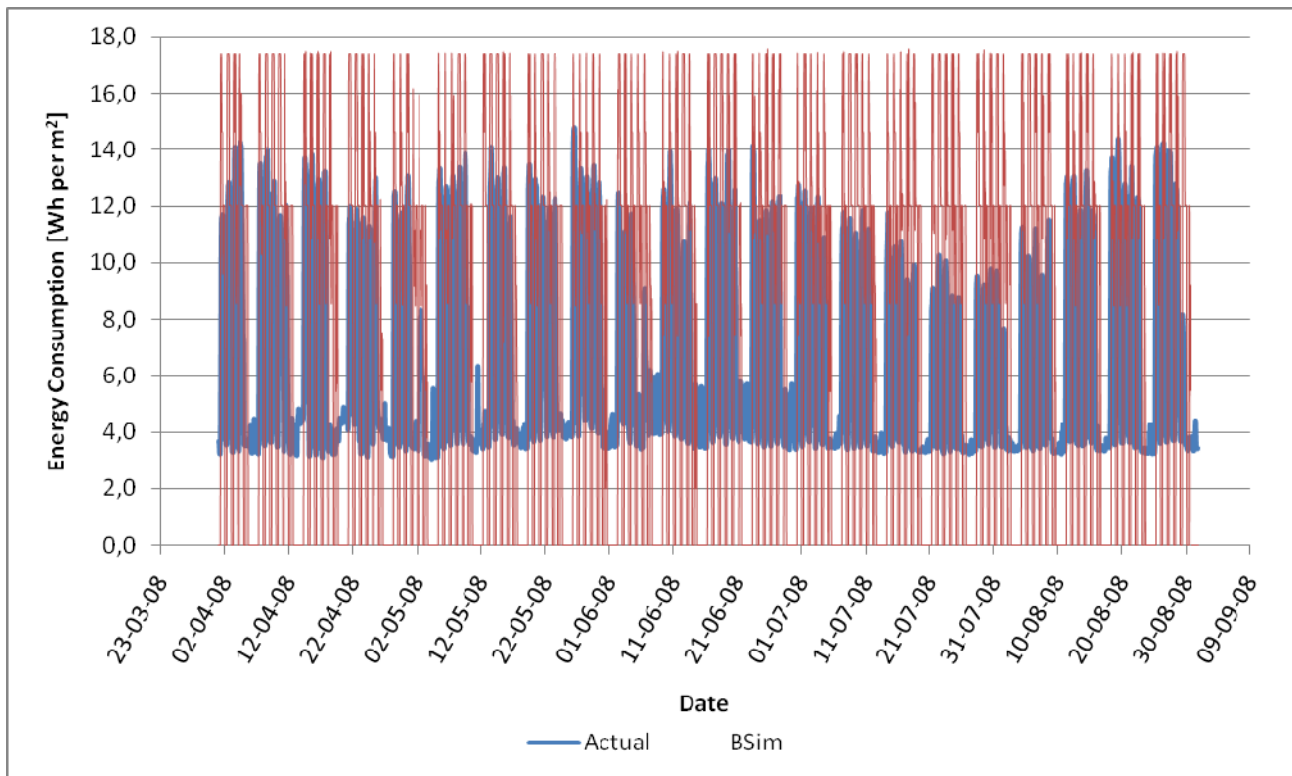


Figure 10: Energy consumption for lighting and equipment purposes for the actual case and calculated with BSim

From Figure 10 it can be seen that in the real case the lighting and/or equipment is on also outside the occupied hours, e.g. in the nighttime and weekends. The lowest energy demand was metered in July. This probably can be explained with the fact that most often people are on vacations in this month. The actual energy consumption for the whole period did not vary significantly and most of the time was in a range of 4.0 to 12.0 Wh per m<sup>2</sup>.

In BSim it was assumed that the artificial lighting and equipment is always on, when people are present in the building. Therefore the maximum energy consumption equal to 17.5 Wh per m<sup>2</sup> is constant through the whole period. This value is higher than the maximum energy used for the actual building probably because of the wrong assumption used for creating a model in BSim. The assumption that energy used for general lighting is 10.0 W/m<sup>2</sup> and task lighting 20.0 W per person led to significant overestimations. However, it can be clearly seen that the average values are almost equal (7.0 Wh per m<sup>2</sup> calculated with BSim and 6.3 Wh per m<sup>2</sup> actually measured). Thus the overestimation for the lighting system was compensated with underestimation of the energy needed for operation of equipment.



## Cooling

Energy consumption for operation of the cooling system is given in Figure 11.

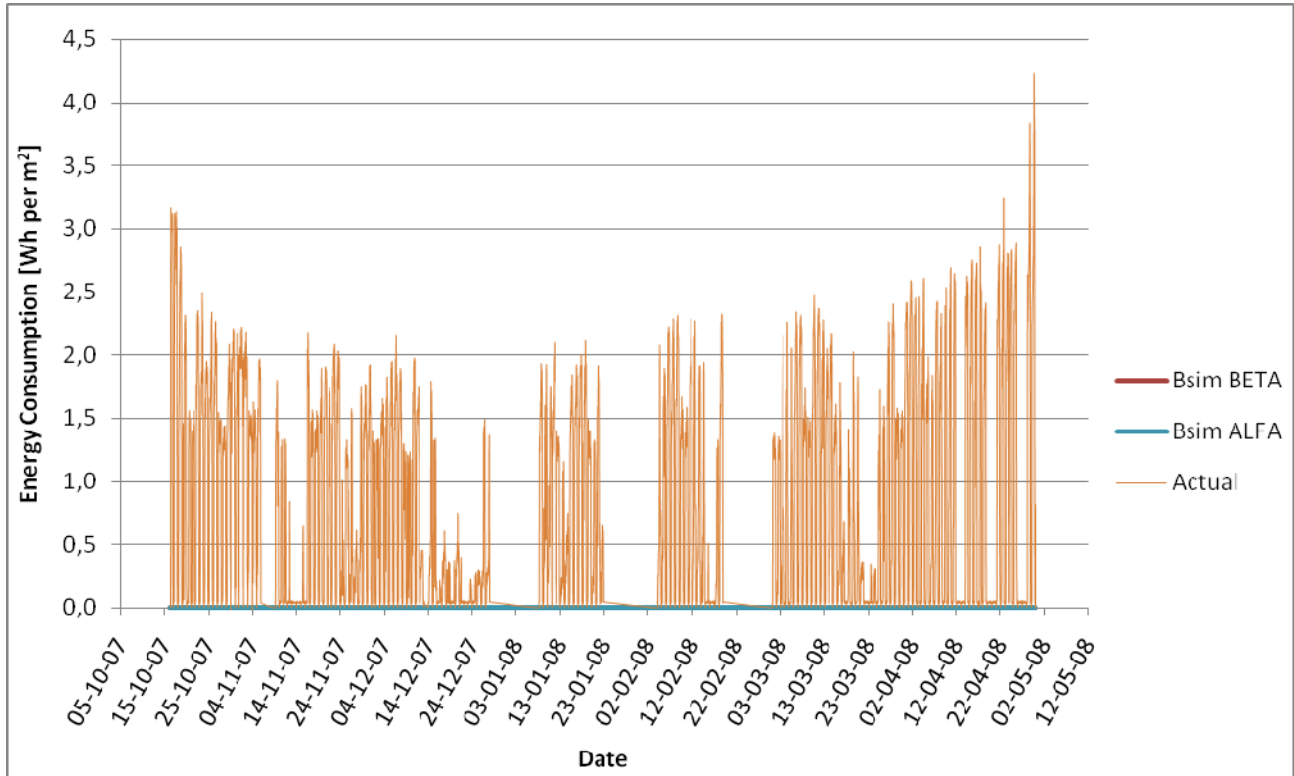


Figure 11: Energy consumption for operation of the cooling system for the actual case and calculated with BSim

When building the model of the 1<sup>st</sup> floor in BSim it was assumed that the cooling system is running only during the summer period, i.e. from 6<sup>th</sup> April to 27<sup>th</sup> September. This is the reason why the energy used for cooling calculated with BSim is equal to 0, since this period is not included in the period, when the actual energy was metered. The only exception is the April month, where the cooling system was not running, because the desired cooling system set points for BETA and ALFA cases, i.e. 23.0 and 25.0°C were not reached.

## Heating

Energy consumption for heating purposes and the outdoor temperatures are given in Figure 12.

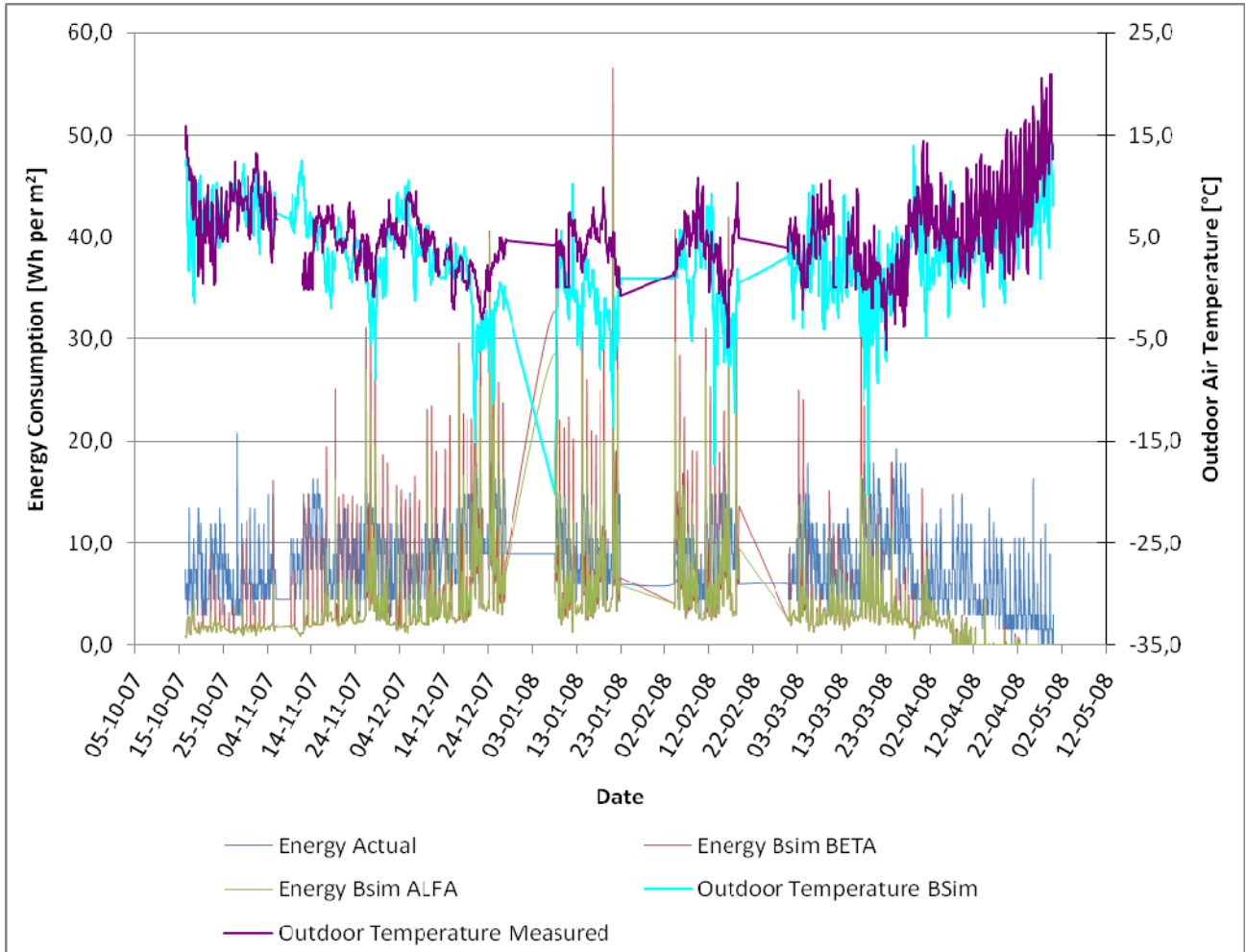


Figure 12: Energy consumption for the heating purposes for the actual case and calculated with BSim

From Figure 12 it can be seen that the measured outdoor temperature is higher than the outdoor air temperature from BSim climate file for Copenhagen. However, the average energy consumption in the given period is 8.0, 3.8 and 3.4 Wh per m<sup>2</sup> for actual, BETA and ALFA cases respectively. Therefore the BETA case is closer to the actual energy consumption. The calculated energy demand for heating might be so low because of the significant overestimations of the internal and external heat gains and lower set point for heating. The lower energy demand for the ALFA case can be explained with 1.0°C lower set point for the heating system, i.e. 20.0°C instead of 21.0°C for BETA case.

## Technical Installations

The energy consumption for the technical installations is given in Figure 13.

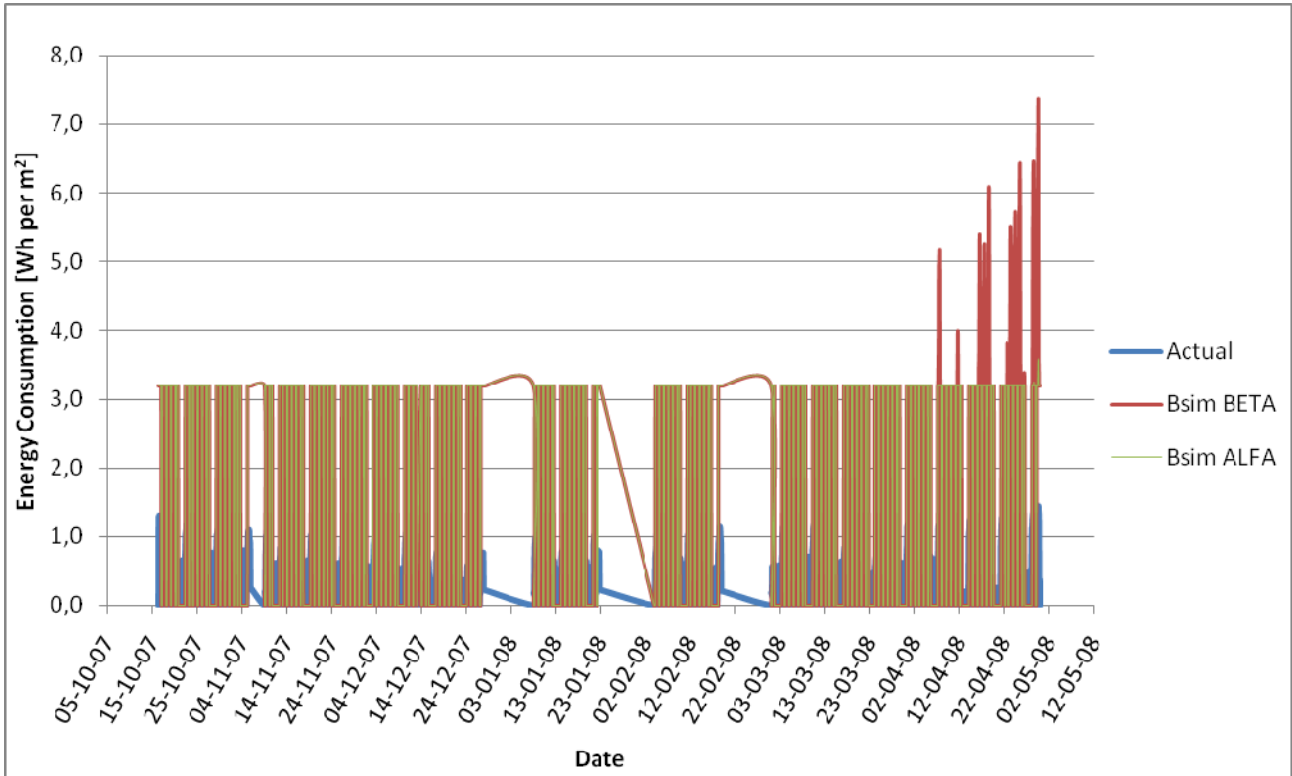


Figure 13: Energy Consumption for the technical installations for the actual case and calculated with BSim

The energy consumption calculated with BSim includes only the energy used for operation of the ventilation system fans. Surprisingly, the energy consumption is much lower for the actual case, even though it includes not only fans but as well control and automation of building services installations. In BSim the necessary amount of ventilation air for comfort and pollution, i.e. 1.68, 1.82 and 1.35 m<sup>3</sup>/s for Zones B, C and D respectively, was calculated for category A according to the standard EN15251 [3]. Therefore the lower actual energy consumption might be explained with the lower actual amount of the supply/exhaust air.

## Conclusions

People working in Zone B found the thermal environment and room temperature in particular more comfortable and acceptable than occupants in zones C and D. The highest temperatures were measured in Zone D, which corresponds to the results from human response, where more people preferred lower room temperatures.

All zones show better temperature performance in the summer period, where most of the time the operative temperature is in a range of 23.5 – 25.5°C corresponding to the highest category I. Moreover, in this period none of the zones and consequently the entire 1<sup>st</sup> floor has never a category lower than the permissible III, indicating that the cooling system is working properly and is able to cover the internal and external heat loads. During the winter period on the 1<sup>st</sup> floor the temperature is 3.4% of time outside the range of 19.0-25.0°C given for category III. The overheating occurs probably because of the high internal heat gains, e.g. from people and office equipment. This probably is also the reason, why the cooling system is in operation in the heating season. However it also indicates that the HVAC system does not work very efficiently and needs to be adjusted, e.g. by lowering the set point for heating. This would lead not only to the better comfort of building occupants, but also to the energy savings.

The actual energy consumption for lighting and equipment is slightly lower than the energy calculated with BSim (6.3 and 7.0 Wh per m<sup>2</sup>). Therefore the significant overestimation in BSim for lighting system was basically compensated with underestimation for equipment. Even though the measured outdoor air temperature is higher than given in BSim climate file for Copenhagen, the real energy demand for heating is approximately two times higher than calculated with BSim. The energy demand for heating in ALFA case is closer to the actual case. The actual energy used for the technical installations is half the energy used for cooling. This energy is also surprisingly approximately 3 times lower than calculated with BSim, even though it includes not only the energy used for operation of fans. When considering all factors mentioned above, the BSim model does not correspond to the real building and needs to be calibrated.

## References

1. Tejsen, P. S. (2009), ThermCo project
2. Jensen, S.Ø., Nielsen, C., Høg, S., Lauersen, S., Madsen, H., Trombe, P.J., Toftum, J., Svendsen, P., Olsen L., Heerup, C. and Jacobsen, F. (2009) "Characterization and optimized control by means of multi parameter controllers", Project no. 339-032, Journal no. 464-06, Danish Technological Institute
3. EN15251 (2006) "Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings- addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics"

## **Appendiks 7:**

### **Indeklimaundersøgelse af Københavns Energis kontorbygning**

# Indeklimaundersøgelse hos Københavns Energi

Foretaget i perioden 1.juli 2005 – 30. juni 2006

Tine S. Larsen  
Rasmus Lund Jensen  
O. Kalyanova  
P. Heiselberg

Aalborg University  
Department of Civil Engineering  
Indoor Environmental Engineering

**DCE Technical Report No. 013**

# **Indeklimaundersøgelse hos Københavns Energi**

**Foretaget i perioden 1. juli 2005 – 30. juni 2006**

by

O. Kalyanova  
P. Heiselberg

August 2006

© Aalborg University

## **Scientific Publications at the Department of Civil Engineering**

**Technical Reports** are published for timely dissemination of research results and scientific work carried out at the Department of Civil Engineering (DCE) at Aalborg University. This medium allows publication of more detailed explanations and results than typically allowed in scientific journals.

**Technical Memoranda** are produced to enable the preliminary dissemination of scientific work by the personnel of the DCE where such release is deemed to be appropriate. Documents of this kind may be incomplete or temporary versions of papers—or part of continuing work. This should be kept in mind when references are given to publications of this kind.

**Contract Reports** are produced to report scientific work carried out under contract. Publications of this kind contain confidential matter and are reserved for the sponsors and the DCE. Therefore, Contract Reports are generally not available for public circulation.

**Lecture Notes** contain material produced by the lecturers at the DCE for educational purposes. This may be scientific notes, lecture books, example problems or manuals for laboratory work, or computer programs developed at the DCE.

**Theses** are monographs or collections of papers published to report the scientific work carried out at the DCE to obtain a degree as either PhD or Doctor of Technology. The thesis is publicly available after the defence of the degree.

**Latest News** is published to enable rapid communication of information about scientific work carried out at the DCE. This includes the status of research projects, developments in the laboratories, information about collaborative work and recent research results.

Published 2006 by  
Aalborg University  
Department of Civil Engineering  
Sohngaardsholmsvej 57,  
DK-9000 Aalborg, Denmark

Printed in Denmark at Aalborg University

ISSN 1901-726X  
DCE Technical Report No. 013



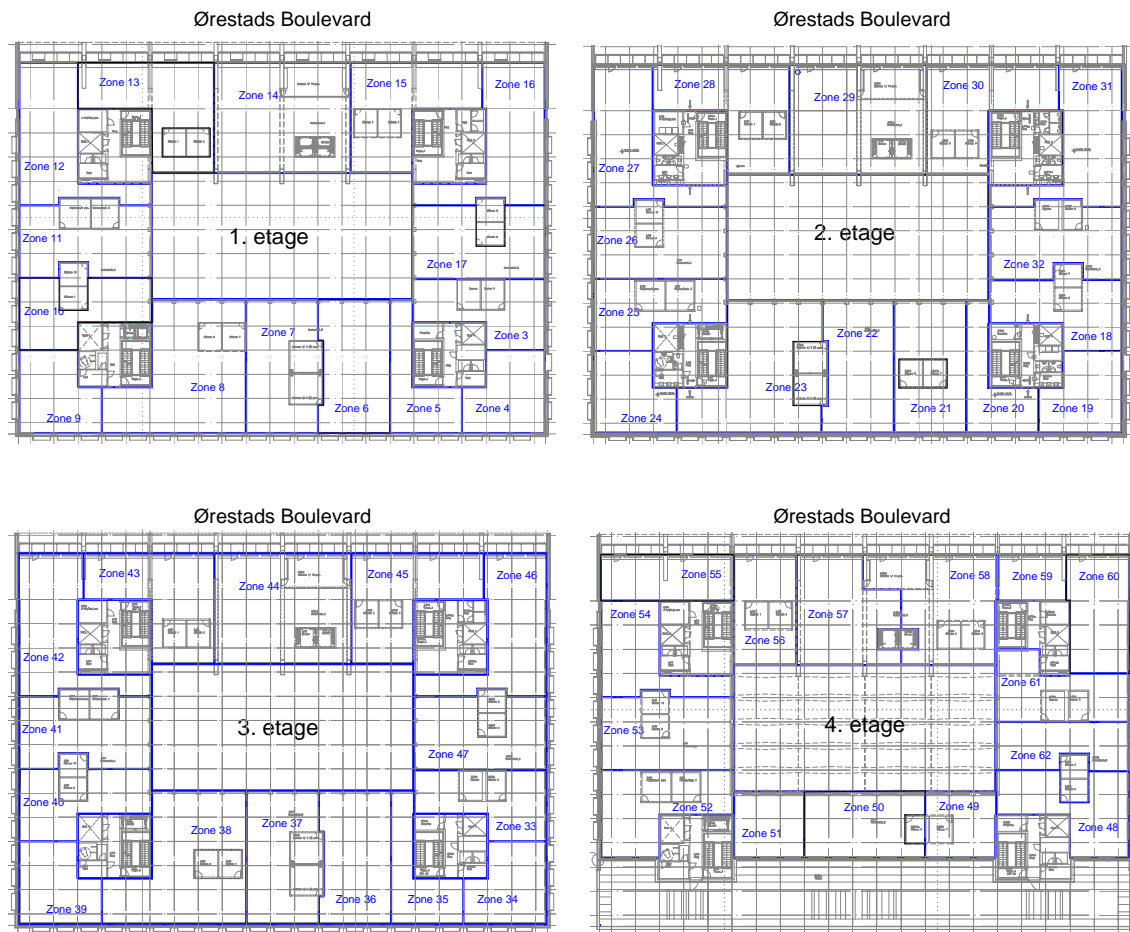
# FORORD

Denne rapport er udarbejdet i forbindelse med måleprogrammet for kontorbygningen Københavns Energi. Måledata anvendes til at dokumentere ventilationsanlæggets funktion og ydeevne med hensyn til termisk indeklima, atmosfærisk indeklima, luftskifte og luftfordeling. Målingerne gennemføres i perioden juli 2005 – juni 2006.

Arbejdet er rekvireret af Byggefelt 1A Aps, c/o Sjælsø Gruppen A/S, Ny Allerødgård, Sortemosevej 15, 3450 Allerød og udføres af Aalborg Universitet, Institutet for Bygningsteknik, Klimalaboratoriet, Sohngårdsholmsvej 57, 9000 Aalborg.

Med til rapporten hører en dokumentations-CD, som forefindes bagerst på rapportens omslag.

I rapporten benyttes ofte henvisning til zonenumre i bygningen. Nummerering af zonerne er foretaget ud fra følgende planer udleveret fra WindowMaster:



# Indhold

<b>1.</b>	<b>KRAV OPSTILLET TIL INDEKLIMAET I BYGNINGEN .....</b>	<b>6</b>
1.1	TEMPERATUR.....	6
1.2	LUFTHASTIGHEDER (TRÆK).....	6
1.3	ATMOSFÆRISK INDEKLIMA.....	7
<b>2.</b>	<b>LANGTIDSMÅLINGER .....</b>	<b>8</b>
2.1	TEMPERATURMÅLINGER.....	8
2.2	CO <sub>2</sub> -MÅLINGER .....	9
2.3	KONKLUSION PÅ LANGTIDSMÅLINGER.....	10
<b>3.</b>	<b>KORTTIDSMÅLINGER.....</b>	<b>11</b>
3.1	SOMMERSITUATION: MÅLT I PERIODEN 22. – 26. AUGUST 2005.....	12
3.2	VINTERSITUATION: MÅLT I PERIODEN 6.-10. FEBRUAR 2006 .....	22
3.3	FORÅRS-/EFTERÅRSSITUATION: MÅLT I PERIODEN 2.- 4. MAJ 2006.....	32
<b>4.</b>	<b>SPØRGESKEMAUNDERSØGELSE .....</b>	<b>42</b>
4.1	GENEREL VURDERING.....	42
4.2	VURDERING UD FRA ZONEOPDELING.....	43
4.3	KONKLUSION PÅ SPØRGESKEMAUNDERSØGELSE .....	50
<b>5.</b>	<b>KONKLUSION – SAMLET VURDERING AF INDEKLIMAET .....</b>	<b>52</b>
	<b>BILAG A: BEREGNINGSEKSEMPEL, LANGTIDSMÅLINGER.....</b>	<b>53</b>
	<b>BILAG B: BESTEMMELSE AF BYGNINGSVOLUMEN.....</b>	<b>56</b>
	<b>BILAG C: MÅLING AF LOKALE LUFTHASTIGHEDER (TRÆK), SOMMER .....</b>	<b>57</b>
	<b>BILAG D: BESTEMMELSE AF LOKALE LUFTSKIFTER .....</b>	<b>60</b>
	<b>BILAG E: BESTEMMELSE AF GENNEMSNITSLUFTSKIFTE I BYGNINGEN.....</b>	<b>61</b>
	<b>BILAG F: BESTEMMELSE AF INFILTRATIONS LUFTSKIFTE .....</b>	<b>62</b>
	<b>BILAG G: SPØRGESKEMAUNDERSØGELSE.....</b>	<b>63</b>

## Krav opstillet til indeklimaet i bygningen

Succeskriteriet for både kort- og langtidsmålingerne foretaget i bygningen er, at disse opfylder kravene i DS474. Uddrag herfra vil i afsnit 0 og 0 kort blive ridset op. Da DS474 ikke omhandler det atmosfæriske indeklima gennemgås arbejdstilsynets anbefalinger på dette område i afsnit 0 for senere at kunne sammenligne forholdene hos Københavns Energi med disse.

### Temperatur

Som vejledning er der i DS474 angivet nogle grænser for temperaturintervaller, temperaturdifferencer og middellufthastighed for en siddende person, som vil sikre, at 80% af personerne i rummet vil være tilfredse

Operativ temperatur i opholdszonen:

- Sommer (belædning = 0,5 clo) 23°C-26°C
- Vinter (belædning = 1,0 clo) 20°C-24°C

Lokale påvirkninger (uddrag fra DS474):

- Lodret temperaturforskel mellem ankel- og hovedhøjde  $\Delta t_a < 3^\circ\text{C}$
- Overfladetemperatur af gulv  
 $19^\circ\text{C} < t_g < 26^\circ\text{C}$
- Strålingstemperaturassymetri mellem vindue og rum  $\Delta t_{pr} < 10^\circ\text{C}$

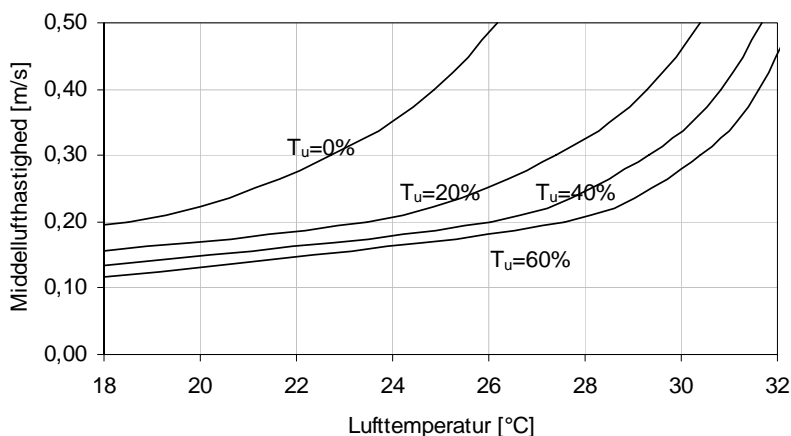
### 1.1.1.1 Toleranceoverskridelse

I perioder hvor udetemperaturen eller andre forhold er ekstreme og overskrider projekteringsforudsætningerne, kan det længerevarende tillades at kravene til termisk indeklima overskrides. I DS474 gives følgende vejledende krav:

- Timer med temperatur over 26°C: 100
- Timer med temperatur over 27°C: 25

### Lufthastigheder (træk)

Vurderingen af, om en given lufthastighed opfattes som træk er afhængig af lufttemperaturen samt turbulensintensiteten i luftens bevægelse, dvs. hvor meget hastigheden varierer over tiden. DS474 anbefaler højst 15% utilfredse med træk. Dette er illustreret i Figur 0.1.



Figur 0.1. Tilladelig middellufthastighed som funktion af lufttemperatur og turbulensintensitet ved højst 15% utilfredse.

## **Atmosfærisk indeklima**

Ved vurdering af det atmosfæriske indeklima ses på luftens indhold af CO<sub>2</sub> samt den relative luftfugtighed. Denne vurdering foretages ud fra At-vejledning A.1.2, hvor der står følgende:

”Hvis personerne i lokalet er den største forureningskilde, måles luftens indhold af kuldioxid (CO<sub>2</sub>), som ikke bør være større end 1000 ppm. Hvis luftens indhold overstiger 2000 ppm i mere end korte perioder af en dag, anses ventilationen for at være utilstrækkelig.”

”Luftfugtigheden giver normalt ikke gener, hvis den relative fugtighed er mellem 25 og 60 pct. Mikrosvampe og husstøvmider lever dog bedst ved høj fugtighed. Det er normalt ikke nødvendigt at befugte luften. Hvis det af særlige årsager er nødvendigt at fugte luften, bør der vælges et befugtningsanlæg, som ikke giver risiko for vækst af mikroorganismer. Oplevelsen af at luften er tør, skyldes ofte høje temperaturer eller støv og kemiske stoffer i luften.”

## Langtidsmålinger

Langtidsmålingerne registreres via de interne følere hos KE. For hver zone i bygningen er der opsat en temperaturføler. Herudover er der i fire zoner på hver etage opsat en CO<sub>2</sub>-måler. Det er målingerne fra disse følere, der samles og analyseres. De udvalgte zoner er dels fundet ud fra tidligere udført spørgeskemaundersøgelse hos KE samt ud fra ønske om, at der som minimum logges på én CO<sub>2</sub>-føler pr. etage.

De valgte zoner er (zoner med kursiv indeholder også CO<sub>2</sub>-føler):

- 1. etage: 6, 10, 13, 17
- 2. etage: 21, 23, 27, 29, 31
- 3. etage: 38, 39, 40, 41, 47
- 4. etage: 48, 50, 55, 60

For at give et overblik over resultaterne af langtidsmålingerne og samtidig lette arbejdet med at sammenligne med kravene opstillet i kapitel 0, foretages der for hver måned en opsummering af timeværdierne for henholdsvis temperatur og CO<sub>2</sub>. Desuden vil eventuelle problemer blive gennemgået, hvis det bliver nødvendigt.

I "Bilag A: Beregningseksempel, langtidsmålinger" er der lavet en gennemgang af resultaterne for zone 41 i august måned. Optegningerne, der vises her, er foretaget for alle måneder og alle udvalgte zoner, og øvrige optegninger kan findes på den medfølgende CD i mappen "log-data". Zone 41 er blevet udvalgt som "eksempel-zone" ud fra orienteringen mod syd, placeringen på 3. etage i bygningen og den tætte placering af medarbejdere, da disse parametre alle bidrager til høje temperaturer. Desuden er der registreret både temperatur og CO<sub>2</sub>-niveau i denne zone.

## Temperaturmålinger

Ved vurdering af temperaturmålingerne i forhold til DS474 opsummeres der for hver måned. Da DS474 angiver hele timer over 26°C eller 27°C er værdierne bestemt som middelværdier over en hel time. Desuden omfatter opsummeringen kun perioden fra kl. 8.00 til kl. 16.00, som her er defineret som arbejdstid. Resultaterne af opsummeringen for temperaturmålingerne ses i Tabel 0.1 og Tabel 0.2.

<i>Zone</i>	<i>6</i>	<i>10</i>	<i>13</i>	<i>17</i>	<i>21</i>	<i>23</i>	<i>27</i>	<i>29</i>	<i>31</i>	<i>38</i>	<i>39</i>	<i>40</i>	<i>41</i>	<i>47</i>	<i>48</i>	<i>50</i>	<i>55</i>	<i>60</i>
Juli	81	25	10	3	38	23	20	5	22	27	64	37	42	11	30	58	25	10
Aug	8	2	0	0	0	0	8	0	3	0	11	3	8	0	0	8	4	0
Sep	17	5	0	0	1	3	7	0	0	0	16	1	7	0	1	1	0	0
Okt	3	0	0	0	0	0	4	0	0	0	2	3	9	0	0	13	0	0
Nov	6	0	0	0	0	0	2	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0
Dec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Jan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Feb	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mar	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
April	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maj	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
Juni	29	14	3	0	12	12	13	0	34	0	13	1	3	1	20	39	19	2
<b>Total</b>	153	46	13	3	51	39	54	5	59	27	122	45	73	12	51	119	48	12

Tabel 0.1. Antal time-intervaller mellem kl. 8 og 16, hvor temperaturen er over 26°C

<i>Zone</i>	<i>6</i>	<i>10</i>	<i>13</i>	<i>17</i>	<i>21</i>	<i>23</i>	<i>27</i>	<i>29</i>	<i>31</i>	<i>38</i>	<i>39</i>	<i>40</i>	<i>41</i>	<i>47</i>	<i>48</i>	<i>50</i>	<i>55</i>	<i>60</i>
-------------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Juli	20	6	0	0	10	5	9	0	4	7	15	11	9	2	6	17	6	1
Aug	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sep	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Okt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Feb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
April	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maj	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Juni	4	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	2	8	0	0
<b>Total</b>	<b>24</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>25</b>	<b>6</b>	<b>1</b>

Tabel 0.2. Antal time-intervaller mellem kl. 8 og 16, hvor temperaturen er over 27°C

Ud fra resultaterne af temperaturanalysen fremgår det, at der i zone 6 er væsentlige problemer med for høje temperaturer. Årsagen til de højere temperaturer i zone 6 er blevet undersøgt under en måleperiode i bygningen, og her blev det konstateret, at føleren i denne zone er placeret over en kopimaskine. Resultaterne fra denne zone medtages derfor ikke i den endelige vurdering af langtidsmålingerne. Desuden anbefales det at flytte føleren, da vinduerne i zonen reguleres efter den kunstigt høje temperatur. Der er desuden registreret et forøget antal timer over 26°C i zone 39 og 50, som begge har en høj belastning pr. areal (se yderligere detaljer om zone 39 under korttidsmålingerne). I bygningen som helhed er temperaturniveauet acceptabelt med en middelværdi på 52 timer over 26°C.

Alle zoner overholder anbefalingen om maksimalt 25 timer over 27°C.

### CO<sub>2</sub>-målinger

Ved vurdering af CO<sub>2</sub>-målingerne er samtlige CO<sub>2</sub>-målinger i bygningen medtaget. Her er succeskriteriet, at målingerne skal ligge under 1000 ppm. Dette bliver i perioden mellem kl. 8 og 16 stort set overholdt for samtlige zoner, jf Tabel 0.3.

<b>Zone</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>22</b>	<b>26</b>	<b>29</b>	<b>32</b>	<b>37</b>	<b>41</b>	<b>44</b>	<b>47</b>	<b>50</b>	<b>53</b>	<b>57</b>	<b>62</b>
Juli	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aug	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sep	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Okt	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Nov	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	4
Dec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	6	0	4	3	3
Jan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	7	1	0
Feb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0
Mar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
April	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maj	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Juni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>7</b>

Tabel 0.3. Antal time-intervaller mellem kl. 8 og 16, hvor CO<sub>2</sub>-niveauet er over 1000 ppm.

For at illustrere den gode luftkvalitet i bygningen er også antallet af timer over 750 ppm medtaget. Disse er vist i Tabel 0.4.

<i>Zone</i>	<i>7</i>	<i>11</i>	<i>14</i>	<i>17</i>	<i>22</i>	<i>26</i>	<i>29</i>	<i>32</i>	<i>37</i>	<i>41</i>	<i>44</i>	<i>47</i>	<i>50</i>	<i>53</i>	<i>57</i>	<i>62</i>
Juli	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	0	1	0	1	0
Aug	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	1	1	2	5	1
Sep	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1	8	4	4	16	5	7
Okt	1	5	0	2	2	5	7	5	14	15	4	33	18	34	43	32
Nov	12	21	12	15	39	47	65	51	54	85	33	112	86	82	108	105
Dec	8	14	9	19	32	39	52	23	41	80	39	71	58	55	75	60
Jan	15	10	9	6	34	42	70	47	80	121	70	74	71	62	112	52
Feb	0	3	1	0	4	17	27	32	27	59	20	66	43	38	80	51
Mar	0	2	6	0	8	29	50	37	33	80	29	94	58	78	97	72
April	0	0	2	1	0	3	12	5	10	46	6	26	13	36	36	24
Maj	0	2	2	3	0	4	4	2	0	22	3	4	12	9	18	7
Juni	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>36</b>	<b>57</b>	<b>41</b>	<b>50</b>	<b>119</b>	<b>186</b>	<b>288</b>	<b>203</b>	<b>260</b>	<b>512</b>	<b>216</b>	<b>485</b>	<b>365</b>	<b>412</b>	<b>580</b>	<b>411</b>

**Tabel 0.4. Antal time-intervaller mellem kl. 8 og 16, hvor CO<sub>2</sub>-niveauet er over 750 ppm.**

### **Konklusion på langtidsmålinger**

Der er i to zoner (begge med høj belastning pr. areal) registreret et forøget antal timer over 26°C. I bygningen som helhed er temperaturniveauet acceptabelt med en middelværdi på 52 timer over 26°C. Alle zoner overholder anbefalingen om maksimalt 25 timer over 27°C.

CO<sub>2</sub>-niveauet i bygningen er under det anbefalede, og det konkluderes derfor, at luftkvaliteten, vurderet ud fra CO<sub>2</sub>-målingerne, er god.

## Korttidsmålinger

Disse målinger blev foretaget over tre perioder for at sikre, at der blev målt på en typisk sommersituation, vintersituation og forårs-/efterårssituation. Målingerne foretaget i en enkelt måleperiode er opstillet i Tabel 0.1:

<i>Parameter</i>	<i>Målinger</i>
Termisk komfort	Niveau af rumtemperatur, herunder bestemmelse af om komfortforhold fra DS474 er opfyldt. Trækforhold Intern varmelast Solafskærmning
Atmosfærisk komfort	Niveau af luftkvalitet – målt via CO <sub>2</sub>
Ventilationskapacitet	Infiltration Bygningens luftsifte i drift Lokalt luftsifte Luftfordeling imellem etager og trykzoner

**Tabel 0.1. Parametre målt under korttidsmålingerne.**

Efter aftale med Københavns Energi måles der intensivt på zone 13 (1. etage vestfacade) og zone 39 (3. etage hjørnekontor mod sydøst) i de tre måleperioder. Begrundelsen for valg af zoner er, at der i zone 13 ofte er klager over træk, og at der i zone 39 er høj personbelastning.

### 1.1.1.2 Beskrivelse af måleområderne i zone 13 og 39

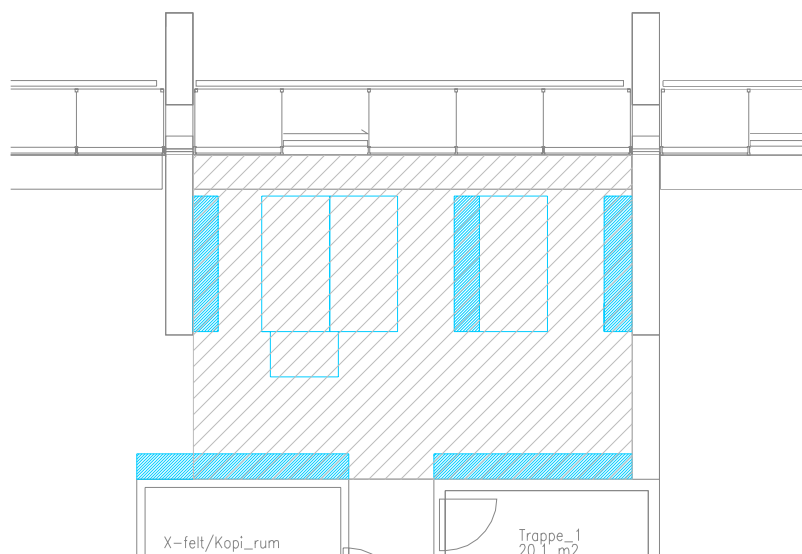
I begge måleområder blev der dele af zonen udvalgt til intense målinger af temperatur, CO<sub>2</sub> og træk. Måleområderne er angivet som skraveret på Figur 0.1 og Figur 0.2. Dog er måleområdet ændret ved vurdering af det lokale luftsifte i zone 39. Dette er beskrevet nærmere i afsnit 0.

I måleområdet i zone 13 er der tre arbejdsplader (3 personer x 100W) med tilhørende PC og fladskærm (50W) samt skrivebordslampe (20W). Desuden er der opsat 6 lysstofrør (i alt 4 W/m<sup>2</sup>). Beregnes den totale varmebelastning i området, som er 44 m<sup>2</sup> giver dette 15,6 W/m<sup>2</sup>.

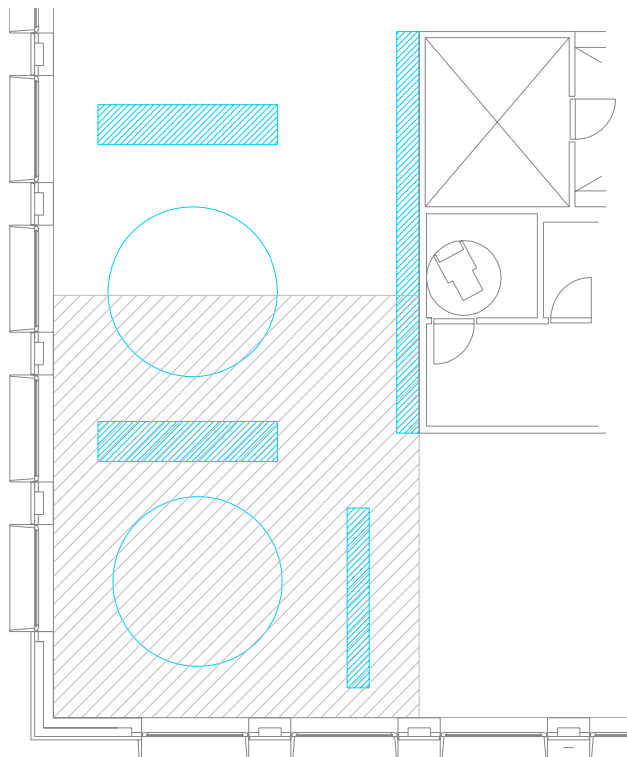
I zone 39 er der seks arbejdsplader (6 personer x 100W) med tilhørende PC og fladskærm (50W) samt skrivebordslampe (20W). Desuden er der opsat 4 lysstofrør (i alt 4 W/m<sup>2</sup>). Beregnes den totale varmebelastning i området, som er 34 m<sup>2</sup>, giver dette 34 W/m<sup>2</sup>.

Sammenlignes den interne varmebelastning med vejledningen i By og Byg anvisning 202 ses, at varmebelastningen i zone 13 vurderes som egnet til naturlig ventilation, men at varmebelastningen i zone 39 kræver særlige overvejelser i forbindelse med naturlig ventilation.





**Figur 0.1. Møbleri af måleområdet i zone 13. Måleområdet er skraveret. Vinduer vender mod vest.**



**Figur 0.2. Møbleri af måleområdet i zone 39. Måleområdet er skraveret. Vinduer vender mod syd og øst.**

Resultaterne fra de tre måleperioder vil blive gennemgået i afsnit 0-0. Til slut foretages en samlet vurdering af målingernes resultat.

### **Sommersituation: Målt i perioden 22. – 26. august 2005**

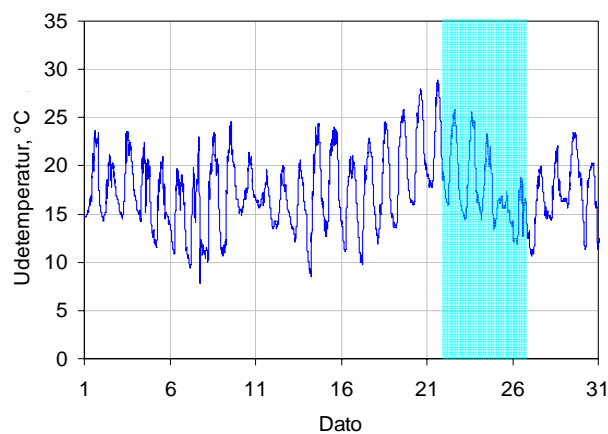
Udover målingerne i zone 13 og 39 ønskede Københavns Energi, at trækgener i zone 36, 38, 47 og 52 blev undersøgt. Dette blev accepteret hvis tiden tillod det, selvom det er udenfor

kontrakten. Desuden blev det oplyst, at der køres med varme på i flere zoner på første sal, fordi folk klager over træk og kulde. Især i zone 13 er dette et problem.

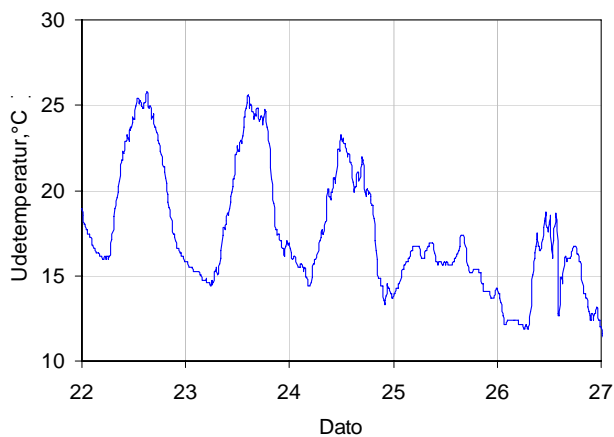
### *Vejrdata for perioden*

Vejrdata er opsamlet med KE's egne følere. Det var ønsket, at sommersituationen skulle repræsentere en længerevarende varm periode, men på grund af det lunefulde danske sommervejr viste det sig svært at opnå. Mandag til onsdag i måleperioden var vejret let diset men lunt med svag vind. Torsdag var præget af højere vindhastigheder og regn indtil sidst på dagen. Fredag var der overskyet men tørvejr.

Udetemperaturen for hele august måned er vist i Figur 0.3. Det fremgår af figuren, at ugen inden måleperioden var rimelig varm med temperaturer mellem 23°C og 28°C, men at temperaturen tre dage inde i måleperioden faldt fra omkring 24-25°C til 16-17°C. Udetemperaturen i måleperioden er vist i Figur 0.4.

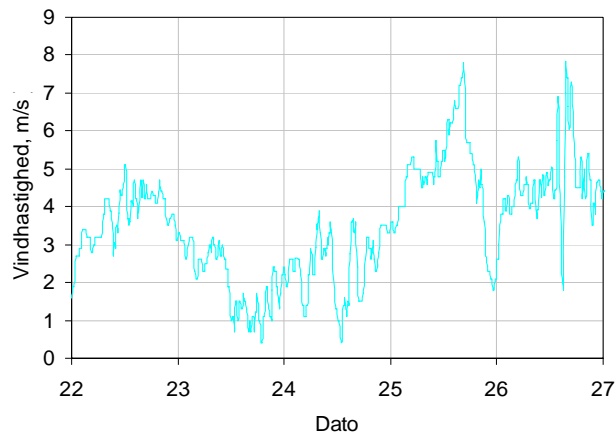


**Figur 0.3. Udetemperaturen i august måned 2005. Måleperioden er markeret med turkis.**

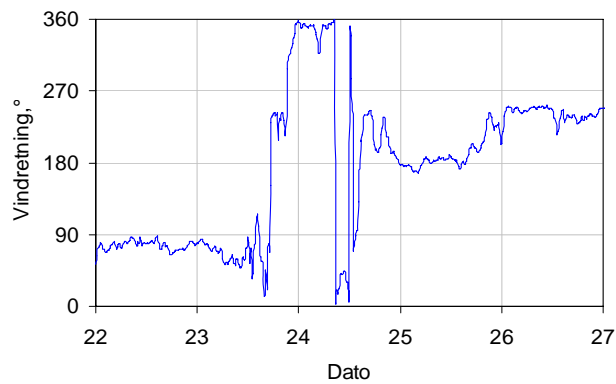


**Figur 0.4. Udetemperaturen i måleperioden.**

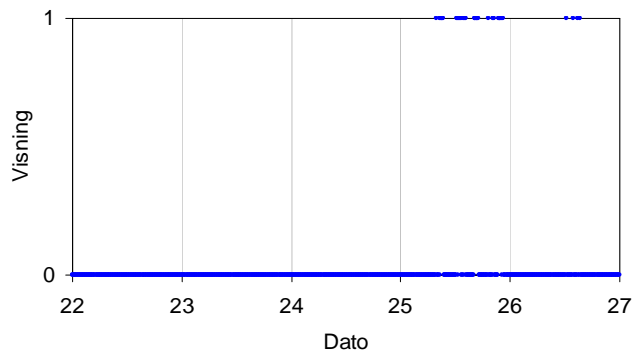
Ved vejrskiftet onsdag aften blev vindhastighederne højere. Desuden ændredes vindretningen fra øst over nord til sydvest og det begyndte at regne. Dette er illustreret i Figur 0.5, Figur 0.6 og Figur 0.7.



**Figur 0.5. Vindhastigheden i måleperioden.**



**Figur 0.6. Vindretningen i måleperioden.**



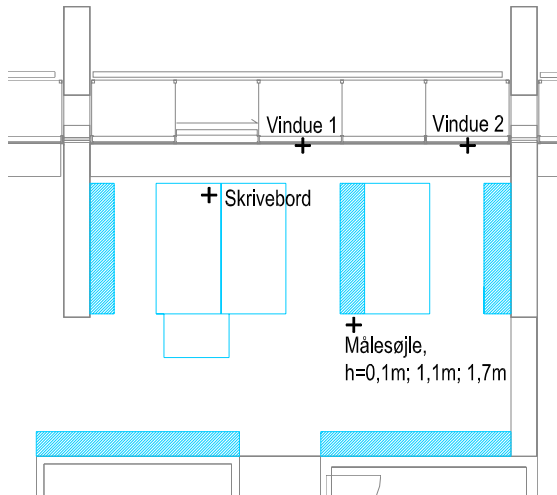
**Figur 0.7. Visning af regn og tørvej i måleperioden. 0=tørvej, 1=regn.**

### *Termisk komfort*

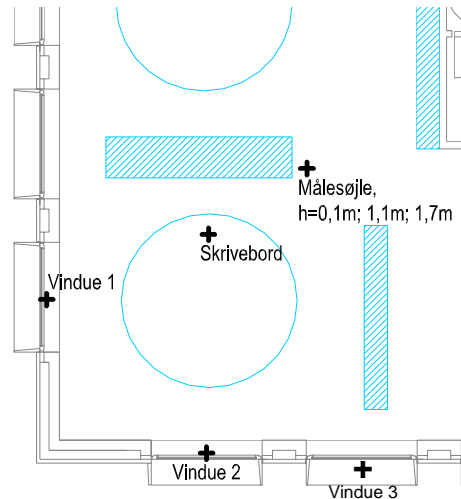
#### *Måling af temperaturer i kontorzonerne*

Der blev i både zone 13 og 39 målt temperaturer i vinduesåbningerne, på et skrivebord samt på en målesøjle i højderne 0,1 m, 1,1 m og 1,7 m.

Placering af målingerne er angivet på Figur 0.8 og Figur 0.9.

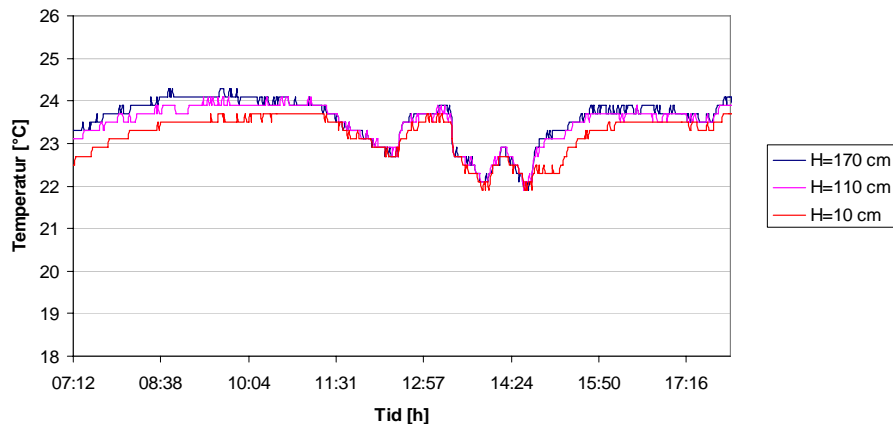


Figur 0.8. Placering af temperaturmålinger i zone 13

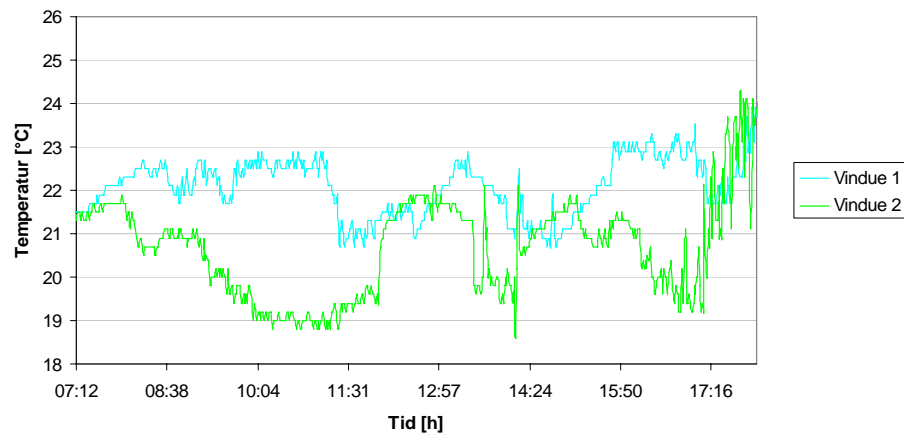


Figur 0.9. Placering af temperaturmålinger i zone 39

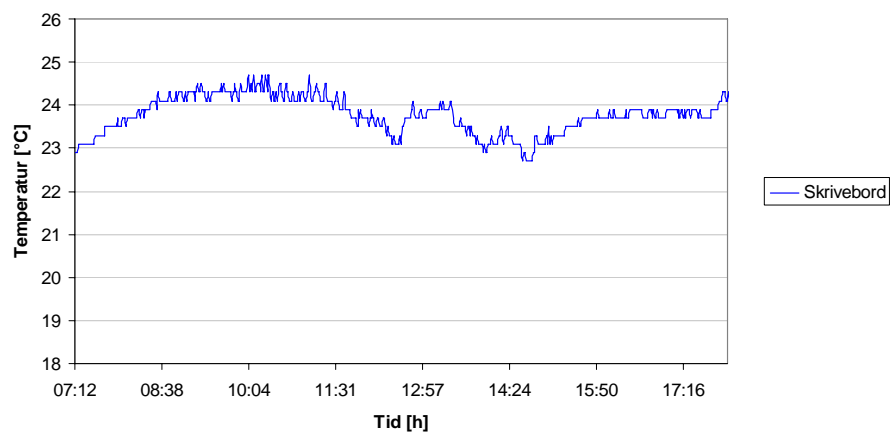
Et eksempel på temperaturerne målt onsdag i zone 13 ses i Figur 0.10 - Figur 0.12. Øvrige måledata for denne zone findes på den medfølgende CD i mappen ”sommer”



Figur 0.10. Temperaturer målt på målesøjle i zone 13 onsdag d. 24. august.



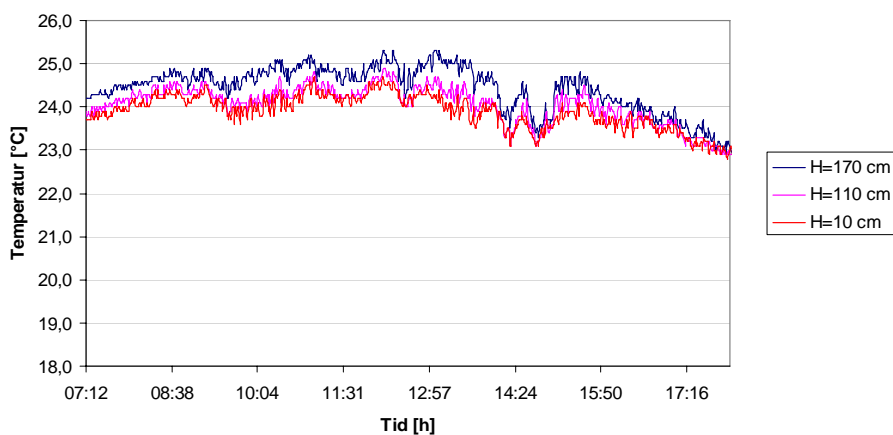
Figur 0.11. Temperaturer målt i indtaget ved vinduerne i zone 13 onsdag d. 24. august.



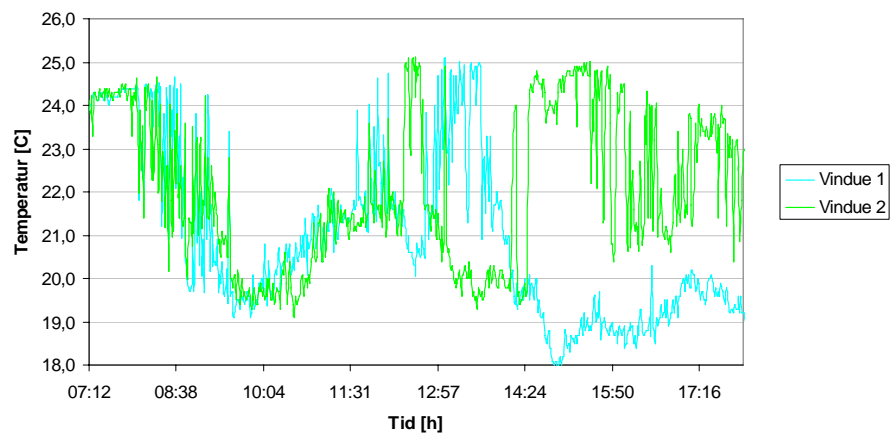
**Figur 0.12. Temperatur målt på skrivebord i zone 13 onsdag d. 24. august.**

Ud fra målingerne kan det konstateres, at temperaturerne i zone 13 ligger mellem 22°C og 25°C indenfor arbejdstiden, hvilken er et acceptabelt komfortområde. Dette er gældende i alle målingerne. Desuden er temperaturgradienten mellem 0,1 m og 1,1 m kun omkring 0,5°C, hvilket er fuldt ud acceptabelt.

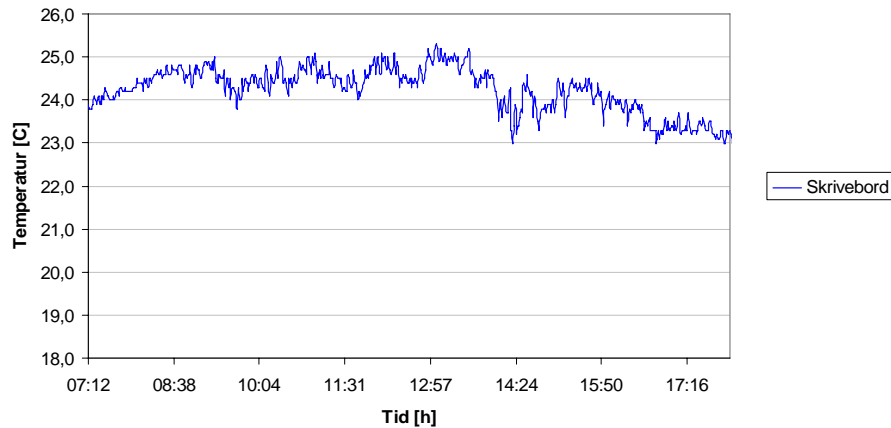
Temperaturerne målt onsdag i zone 39 ses i Figur 0.13 - Figur 0.15. Øvrige måledata for denne zone findes i samme dokument som for zone 13.



**Figur 0.13. Temperaturer målt på målesøjle i zone 39 onsdag d. 24. august.**



**Figur 0.14. Temperaturer målt i indtaget ved vinduerne i zone 39 onsdag d. 24. august.**



**Figur 0.15. Temperatur målt på skrivebord i zone 39 onsdag d. 24. august.**

Også i zone 39 er der fundet gode temperaturmæssige forhold, som alle overholder kravene i DS474. Dog når temperaturen tirsdag eftermiddag op på 26,5°C (er kun medtaget på CD), men dette skyldes, at vi pga infiltrationsforsøg fik lukket alle vinduer i bygningen kl. 15 denne dag. Der bør derfor ses bort fra disse kortvarige høje temperaturer.

De meget varierende temperaturer målt i vindue 1 må skyldes, at dette vindue både bliver brugt som indtag og udsugning for luften afhængigt af vindens påvirkning på bygningen.

#### *Måling af lokale lufthastigheder (træk)*

Hastighederne i zone 13 og 39 blev målt på tre forskellige dage for at opnå forskellige situationer. Røgpipette blev brugt til at visualisere luftbevægelserne og finde frem til kritiske områder. Samtlige måleresultater er opgivet i ”Bilag C: Måling af lokale lufthastigheder (træk), sommer”.



**Figur 0.16. Måling af lokale hastigheder.**

#### *Zone 13:*

Målingerne i zone 13 blev tirsdag og torsdag foretaget under normale driftssituationer. Om onsdagen åbnede brugerne manuelt vinduerne helt op under målingerne. Vinduerne er derfor i denne måling ikke styret af styringssystemet, men af brugerne, og de høje hastigheder der er målt er derfor i det tilfælde, hvor brugerne selv åbner vinduerne op. Ventilationssystemet ville ikke åbne så meget men bliver styret af vindhastighed, retning, temperatur mm. Der ses derfor bort fra resultaterne af onsdagens målinger i analysen af lufthastigheder.

I den normale driftssituation blev der målt hastigheder mellem 2,6 og 18,2 cm/s og turbulensintensitet er vurderet til omkring 45%. Disse værdier er fundet som middelværdier over 1 minut. Bruges en turbulensintensitet på 45% og en

rumtemperatur på 23°C (fundet ved målingerne) kan det ud fra Figur 0.1 vurderes, hvad niveauet af hastighederne i opholdszonen skal være for at have mindre end 15% utilfredse med træk. Her findes det frem til, at hastighederne skal være mindre end 16 cm/s, hvilket i dette tilfælde ikke er opfyldt. Regnes der derimod den anden vej medfører 18,2 cm/s ca. 20% utilfredse.

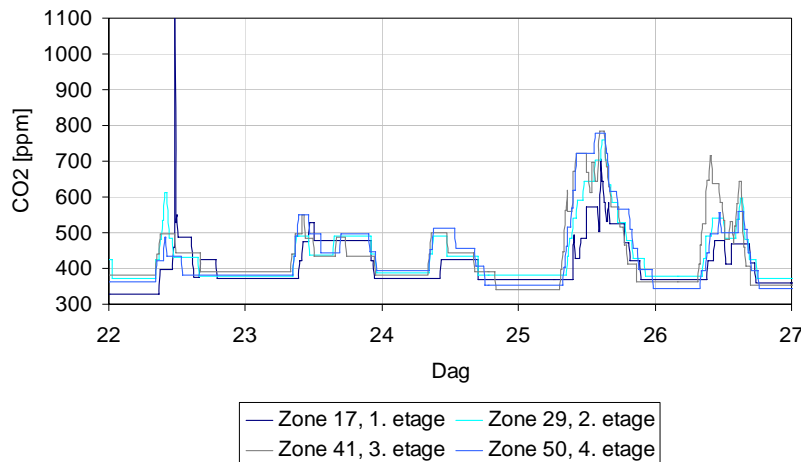
#### *Zone 39:*

Alle målinger i zone 39 er foretaget under normale driftssituationer med åbne vinduer. Lufthastighederne blev, på opfordring fra brugerne, målt på tre forskellige arbejdspladser indenfor zonen. Der blev målt hastigheder mellem 3,1 og 25,1 cm/s og igen bruges en turbulensintensitet på 45%.

For at opfylde det vejledende krav om højst 15% utilfredse bør der i denne zone ikke være hastigheder højere end 17 cm/s (turbulensintensitet på 45% og lufttemperatur på 24°C). Dette er ikke opfyldt, da der her er målt hastigheder på 25,1 cm/s, hvilket svarer til 27% utilfredse.

#### *Atmosfærisk komfort*

For at vurdere den atmosfæriske komfort optegnes CO<sub>2</sub>-niveauet målt på hver af de fire øverste etager. Dette ses i Figur 0.17.



**Figur 0.17. CO<sub>2</sub>-niveauet målt op gennem bygningen.**

Det fremgår af optegningen, at der er en svag lagdeling op gennem bygningen, men at det generelle niveau er langt under arbejdstilsynets krav. Det kan derfor konkluderes, at det atmosfæriske indeklima i bygningen er godt.

#### *Ventilationskapacitet*

Ventilationskapaciteten i bygningen vurderes både lokalt i zone 13 og 39 og som et gennemsnit for hele bygningen. I denne sammenhæng vurderes også, om der forefindes en temperaturgradient op gennem bygningen.

Desuden vurderes bygningens tæthed ved at måle infiltrationen i bygningen en aften efter arbejdstid.

#### *Bestemmelse af lokale luftskifter i zone 13 og 39:*

For at vurdere ventilationen i de enkelte zoner blev der registreret personer i zonen i et givent tidsinterval samtidig med, at CO<sub>2</sub>-niveauet blev registreret med tvangsskriver. Beregningerne

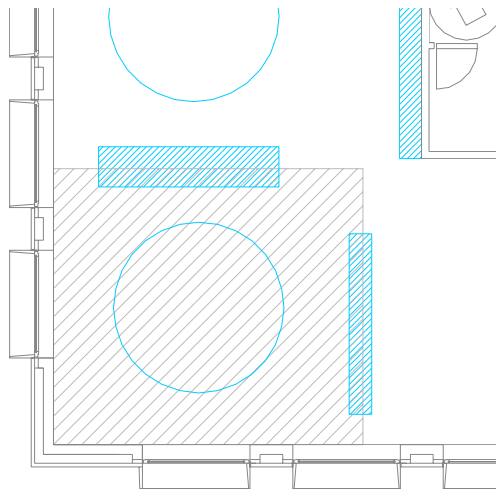
er foretaget ud fra metoden med konstant tilførsel af gas (CO<sub>2</sub>) og kan ses i ”Bilag D: Bestemmelse af lokale luftskifter”.

#### *Zone 13:*

Luftskiftet i zone 13 blev vurderet i området mellem de to skillevægge, som har tre ventilationsstyrede vinduer, se Figur 0.1. Under målingerne åbnede brugerne vinduerne helt op – vinduerne er derfor i denne måling ikke styret af styringssystemet, men af brugerne. Middelluftskiftet i perioden er bestemt til 6h<sup>-1</sup> med en gennemsnitsbelastning i zonen på 1,9 personer. Til sammenligning kan nævnes, at det minimalt nødvendige luftskifte i zonen ved opretholdelse af et CO<sub>2</sub>-niveau på 1000 ppm skal være 1,1 h<sup>-1</sup>, så dette luftskifte er fuldt ud tilstrækkeligt.

#### *Zone 39:*

Luftskiftet i denne zone blev vurderet ud fra et område i hjørnet indenfor reolerne (se Figur 0.18).



**Figur 0.18. Område brugt ved beregningerne af lokalt luftskifte i zone 39.**

Der blev registreret personer i zonen fra kl. 9.00 til 11.30 samtidig med at CO<sub>2</sub>-niveauet blev registreret med skriver. Alle vinduer i zonen stod åbne. Ud fra målingerne blev luftskiftet vurderet til at ligge omkring 5h<sup>-1</sup> med en gennemsnitsbelastning i zonen på 5,0 personer. Her er det minimalt nødvendige luftskifte i zonen ved opretholdelse af et CO<sub>2</sub>-niveau på 1000 ppm beregnet til 1,5 h<sup>-1</sup>, så også dette luftskifte er fuldt ud tilstrækkeligt.

#### *Måling af gennemsnitsluftskifte for bygningen*

Middelluftskiftet i bygningen blev vurderet over en måleperiode på 4 timer fra kl. 10.00 til kl. 14.00, hvor vi antog at bygningen var i fuld drift. Under måleperioden blev antallet af personer i bygningen løbende talt. Vejret var denne dag tørt så bygningen kører med normal drift. Dog kører flere zoner ifølge Thomas Casmore på vinterdrift, og ventilationskapaciteten vil reelt være lidt højere hvis alle zoner kører efter sommerdrift. Luftskiftet som er nødvendigt for at opretholde et CO<sub>2</sub>-niveau på 1000 ppm er beregnet til 0,53 h<sup>-1</sup>. Dette er beregnet for 312 personer, som var det gennemsnitlige antal der befandt sig i bygningen i perioden hvor målingen blev foretaget.

Beregninger af luftskiftet foretaget med samme metode som ved beregning af lokale luftskifter viser, at middelluftskiftet i måleperioden har været på 3,2 h<sup>-1</sup>. Beregningerne er

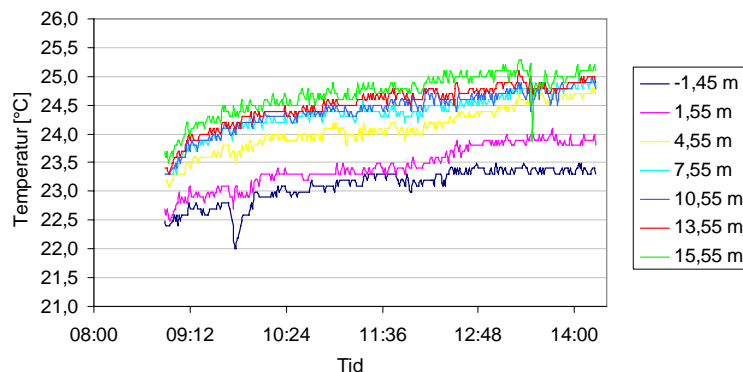


gennemført i ”Bilag B: Bestemmelse af bygningsvolumen” og ”Bilag E: Bestemmelse af gennemsnitsluftskifte i bygningen”. Usikkerheden på denne type beregning er forholdsvis stor, da antallet af personer i bygningen hele tiden varierer. Desuden er volumen brugt i beregningerne ikke korrigeret for møbler i bygningen, hvilket vil sige, at det reelle volumen er mindre end det beregnede og luftskiftet dermed en anelse højere. Sammenlignes med det minimalt nødvendige luftskifte kan det konkluderes, at det gennemsnitlige luftskifte i bygningen er godt.

### Temperaturgradient i bygningen

En anden metode til vurdering af ventileringen i bygningen er at registrere temperaturgradienten op gennem bygningen. Dette blev gjort ved at ophænge et kabel ned gennem atriet (se foto til højre) med 7 termoelementer fordelt med en afstand på 3 m. Dog er der af pladshensyn kun 2 m mellem de øverste to termoelementer. Resultatet er vist i Figur 0.19.

Som det fremgår af målingerne er temperaturgradienten op gennem bygningen kun på ca.  $1,7^{\circ}\text{C}$ , hvilket svarer til ca.  $0,1^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . Dette må betegnes som godt, og da målingerne desuden er foretaget torsdag, hvor bygningen en stor del af dagen var delvist lukket pga regn, kan det ud fra dette konkluderes, at opblandingen i bygningen er god.



**Figur 0.19.** Måling af temperaturer op gennem atriet. Højder angiver placering i forhold til gulvet i stueplan. Dvs målingen placeret i -1,45 m er placeret over trappen på ved ned i kælderetagen.

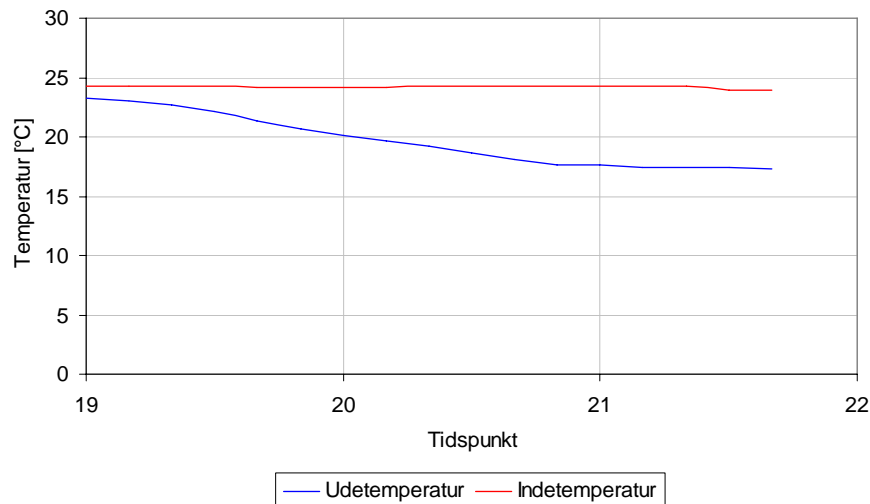
### Vurdering af infiltrationsluftskifte

Vurderingen af infiltrationsluftskiftet blev foretaget i en tom bygning, hvor alle åbninger var lukkede. For at forøge  $\text{CO}_2$ -koncentrationen i bygningen inden forsøgets start blev alle vinduer lukket kl. 15.00 på forsøgsdagen. Dette blev gjort for at sikre flere målinger til en afklingningskurve, da  $\text{CO}_2$ -koncentrationen generelt er meget lav i bygningen, og vi på denne måde kunne forøge antallet af målinger.

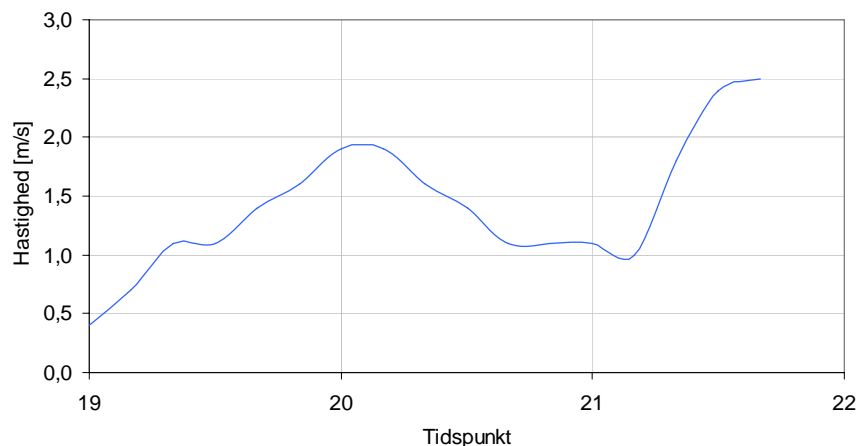
Kl. 18.10 blev bygningen gennemgået for at sikre, at alle åbninger var lukkede. Alle medarbejdere havde forladt bygningen kl. 19.00 og målingerne er derfor fra denne periode og fremefter.

Infiltrationsluftskiftet vurderes både ud fra en afklingningskurve målt med AAU's CO<sub>2</sub>-føler og skriver samt ud fra et gennemsnit af de målinger der er foretaget i bygningen med KE's følere. Beregninger er foretaget i "Bilag F: Bestemmelse af infiltrationsluftskifte"

Resultatet af målingen med AAU's måler har givet et infiltrationsluftskifte på 0,06 h<sup>-1</sup>. Målingerne med KE-følerne, som er foretaget som en middelværdi for hele bygningen angiver et infiltrationsluftskifte på 0,03 h<sup>-1</sup>. Resultatet af begge måleserier er, at bygningens infiltrationsluftskifte er meget lavt. Med til dette resultat hører en vurdering af temperaturforskellen mellem ude og inde samt vindens hastighed i perioden, da disse parametre også vil have indflydelse på infiltrationen i bygningen. Disse parametre er optegnet i Figur 0.20 og Figur 0.21.



Figur 0.20. Ude- og indetemperatur i måleperioden for infiltrationsluftskifte.



Figur 0.21. Vindens hastighed i måleperioden for infiltrationsluftskifte.

Ud fra optegningerne ses, at temperaturforskellen mellem ude og inde i bygningen er moderat i perioden og vindens hastighed lav. Ud fra disse parametre vurderes, at et minimalt

infiltrationsluftskifte er registreret, da større temperaturforskelle samt højere vindhastighed vil forøge luftskiftet, som dog stadig antages at ville være meget lavt.

#### *Vurdering af luftfordeling mellem etagerne*

Pga røgdetektorerne i bygningen kunne det ikke lade sig gøre at bruge røggasgenerator i bygningen for at spore luftfordelingen i bygningen. Da alle øvrige målinger tyder på en god opblanding af luften i bygningen blev det derfor vedtaget, at dette punkt ikke gennemføres. Dog skal det under dette punkt bemærkes, at der ofte fornemmes madduft i bygningen fra kantinen. Om dette transporteres udefra og ind gennem vinduerne eller op gennem bygningen er dog ikke undersøgt.

#### *Generel vurdering af indeklimaet i en sommersituation*

Ud fra de foretagne undersøgelser af indeklimaet i bygningen kan følgende overordnede forhold konkluderes ved målingerne i en sommersituation.

#### **Termisk komfort**

Der er ikke problemer med for høje eller lave temperaturer i bygningen. Alle de målte temperaturer holder sig indenfor det anbefalede komfortinterval fra DS474.

#### **Træk**

Der er registreret højere hastigheder i opholdszonerne end anbefalet i DS474, hvis der accepteres højst 15% utilfredse. Desuden kan vi også fra brugerne høre, at de ofte føler træk på arbejdspladserne.

#### **Atmosfærisk komfort**

CO<sub>2</sub>-niveauet i bygningen ligger omkring 500-700 ppm, hvilket er langt under arbejdstilsynets krav på 1000 ppm. Det kan derfor konkluderes, at det atmosfæriske indeklima i bygningen er godt.

#### **Ventilationskapacitet**

I forbindelse med vurderingen af ventilationen i bygningen blev både det lokale luftskifte i måleområderne og det totale luftskifte for hele bygningen vurderet. Disse lå begge højere end det nødvendige luftskifte, og det kan derfor konkluderes, at luftskifterne vurderet i forhold til den atmosfæriske komfort er gode. Selvom disse er væsentligt højere end nødvendigt kan det ikke anbefales at nedsætte disse, da temperaturen så vil stige i bygningen hvilket ikke vil være hensigtsmæssigt i sommerperioden.

Bygningens tæthed blev også vurderet og her blev der fundet frem til et infiltrationsluftskifte på 0,03-0,06 h<sup>-1</sup>, hvilket vil sige, at bygningen er må betragtes som værende meget tæt. Dog blev målingen foretaget i en periode med lav temperaturforskelle mellem ude og inde samt lav vindhastighed. Forøges disse faktorer vil infiltrationsluftskiftet sandsynligvis også forøges en anelse.

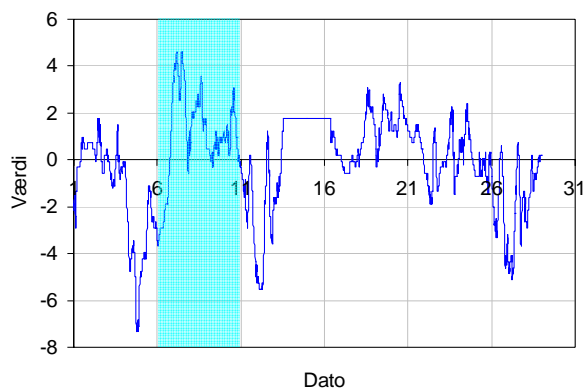
#### **Vintersituation: Målt i perioden 6.-10. februar 2006**

Ligesom sidste periode måles der intensivt på zone 13 (1. etage vestfacade) og zone 39 (3. etage hjørnekontor mod sydøst) i denne måleperiode. Desuden er der i denne periode også målt relativ luft fugtighed efter aftale på projektmødet hos KE d. 14. oktober 2005. Detaljer og beskrivelser for måleområderne ses først i dette kapitel.

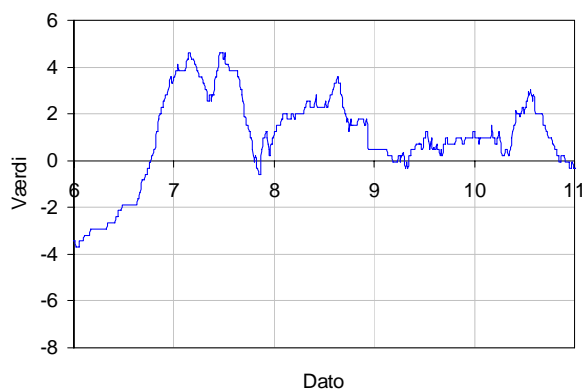
### Vejrdata for perioden

Vejrdata er opsamlet med KE's egne følere. Der var overskyet og regn alle dage på nær tirsdag, hvor solen skinnede.

Udetemperaturen for hele februar måned er vist i Figur 0.22. Udetemperaturen i måleperioden er vist i Figur 0.23.

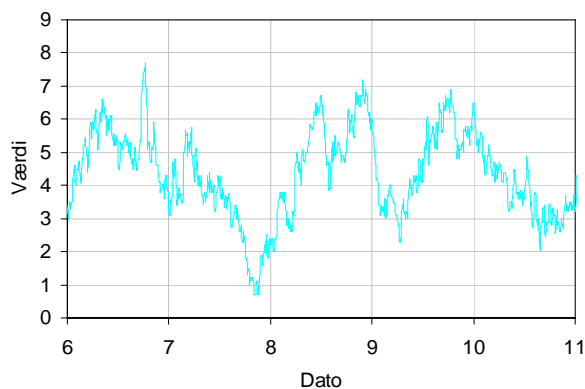


**Figur 0.22. Udetemperaturen i februar måned 2006. Måleperioden er markeret med turkis.**

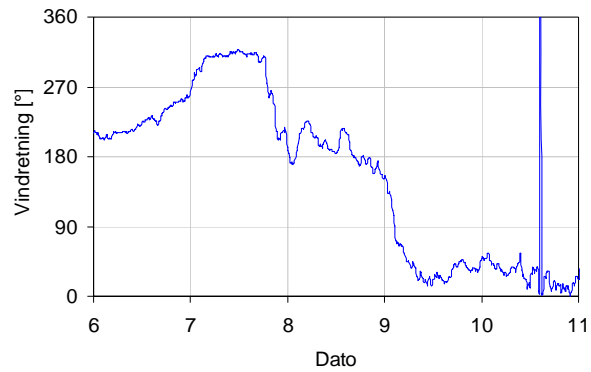


**Figur 0.23. Udetemperaturen i måleperioden.**

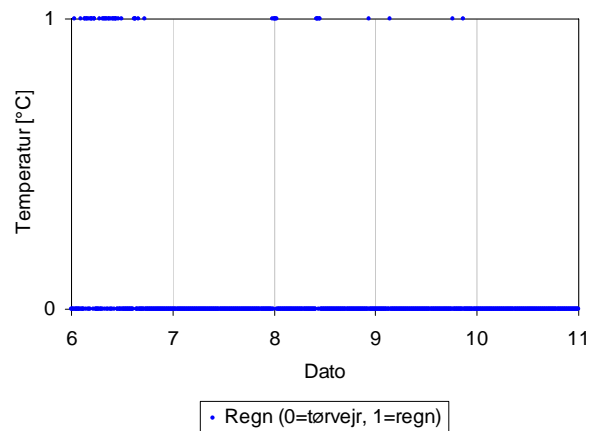
Vindhastighederne lå gennem hele måleperioden mellem 1 og 7 m/s. Der ses forholdsvis stor variation i løbet af dagen. Stort set alle vindretninger har også været repræsenteret i måleperioden. Dette ses i Figur 0.24 og Figur 0.25. Nedbøren i perioden ses i Figur 0.26.



**Figur 0.24. Vindhastigheden i måleperioden.**



**Figur 0.25. Vindretningen i måleperioden.**



**Figur 0.26. Visning af regn og tørvejr i måleperioden. 0=tørvejr, 1=regn.**

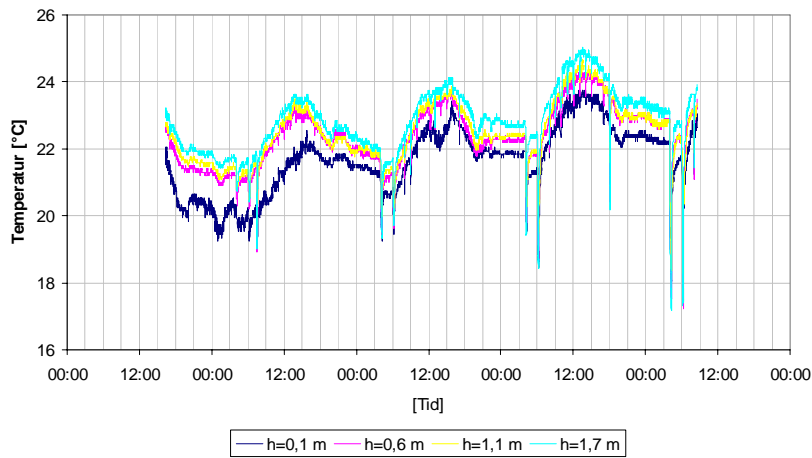
### *Termisk komfort*

#### *Måling af temperaturer i kontorzonerne*

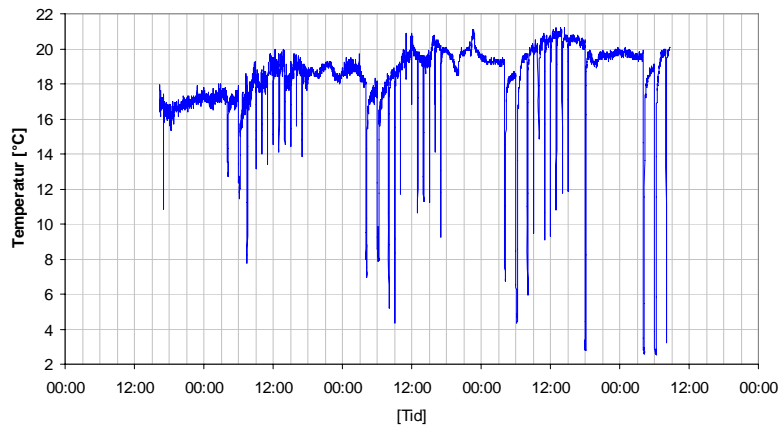
Temperaturmålingerne i zone 13 og 39 blev foretaget i samme målepunkter som i den første måleperiode. Placering af målingerne er angivet på Figur 0.8 og Figur 0.9.

Resultatet af målingerne foretaget fra mandag eftermiddag til fredag middag ses i Figur 0.27 - Figur 0.29.

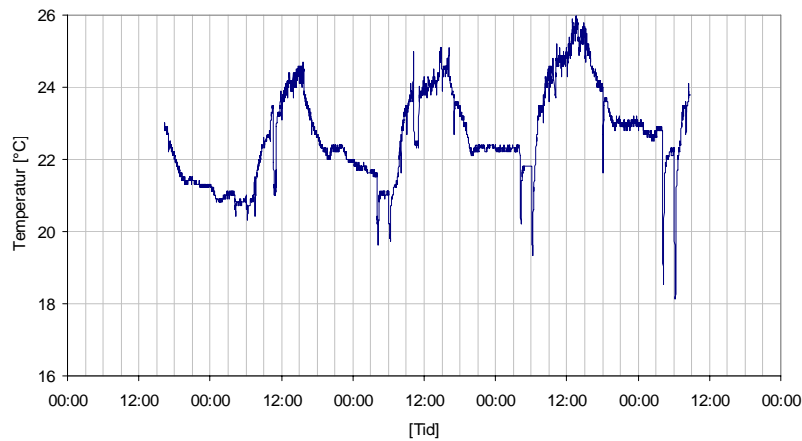
Måledata for denne periode findes desuden på den medfølgende CD i mappen "vinter"



**Figur 0.27. Temperaturer målt på målesøjle i zone 13.**



**Figur 0.28. Temperaturer målt i indtaget ved vindue 2 i zone 13.**

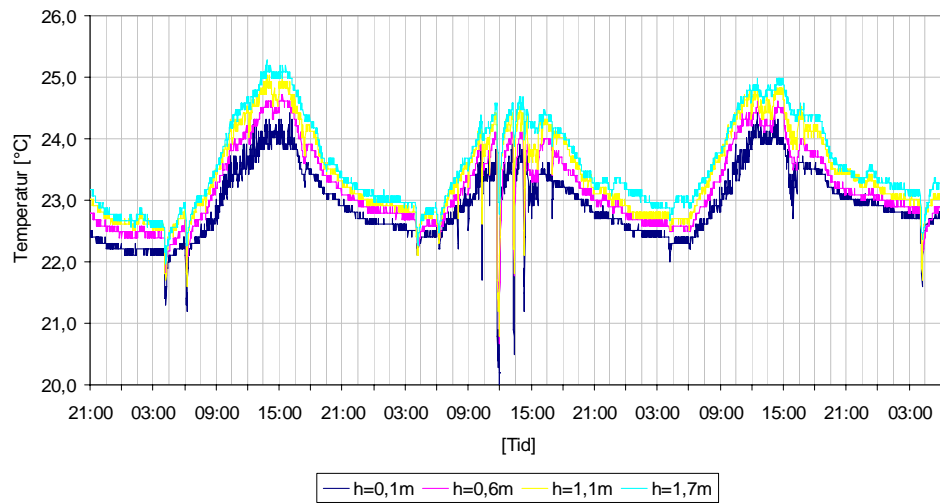


**Figur 0.29. Temperatur målt på skrivebord i zone 13.**

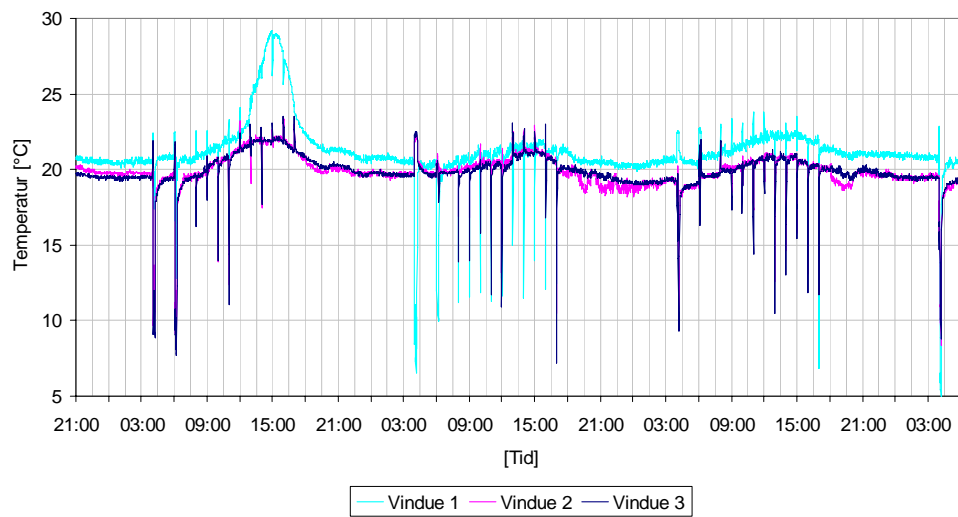
Ud fra målingerne kan det konstateres, at temperaturerne i zone 13 ligger mellem 20°C og 25°C indenfor arbejdstiden. De 25°C er lige i overkanten i vinterperioden, men da brugerne selv har mulighed for at nedregulere temperaturen, og dette desuden kun forekommer i ca. 3 timer en enkelt dag må det alligevel anses for acceptabelt.

Temperaturgradienten mellem 0,1 m og 1,1 m er ca. 1°C, hvilket også er acceptabelt.

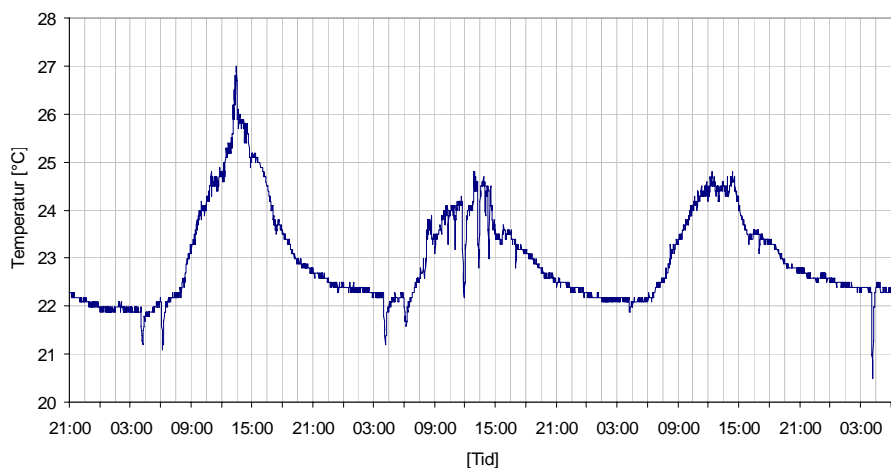
Temperaturerne målt i zone 39 ses i Figur 0.30 - Figur 0.32. Målingerne er foretaget fra mandag aften til fredag morgen. Samtlige måledata for denne zone findes i samme dokument som for zone 13.



**Figur 0.30. Temperaturer målt på målesøjle i zone 39.**



**Figur 0.31. Temperaturer målt i indtaget ved vinduerne i zone 39.**



**Figur 0.32. Temperatur målt på skrivebord i zone 39.**

Også i zone 39 er der fundet rimelige temperaturmæssige forhold. Dog når temperaturen tirsdag eftermiddag op på 27°C på skrivebordet, men det vurderes, at føleren er ramt af sol, da temperaturen i samme periode stiger kraftigt i vindue 1 (mod syd), og der netop denne dag var solskin.

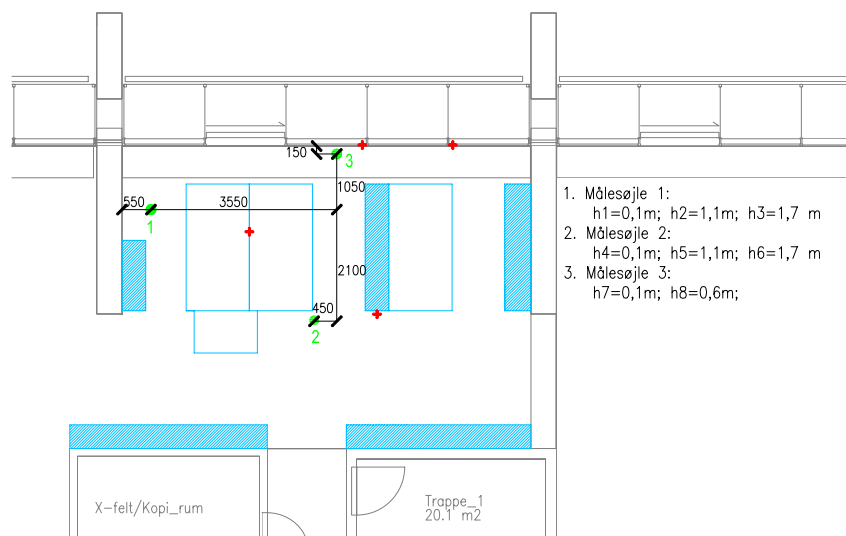
Ligesom for zone 13 ses der på temperaturkurven for vinduesåbningerne, at der i denne periode benyttes pulsventilation.

#### *Måling af lokale lufthastigheder (træk)*

Hastighederne i begge zoner blev i denne måleperiode målt kontinuert i ca. et døgn. Målingerne består af middelværdier for 3 minutter ad gangen som løbende er registreret af dataloggeren.

#### *Zone 13:*

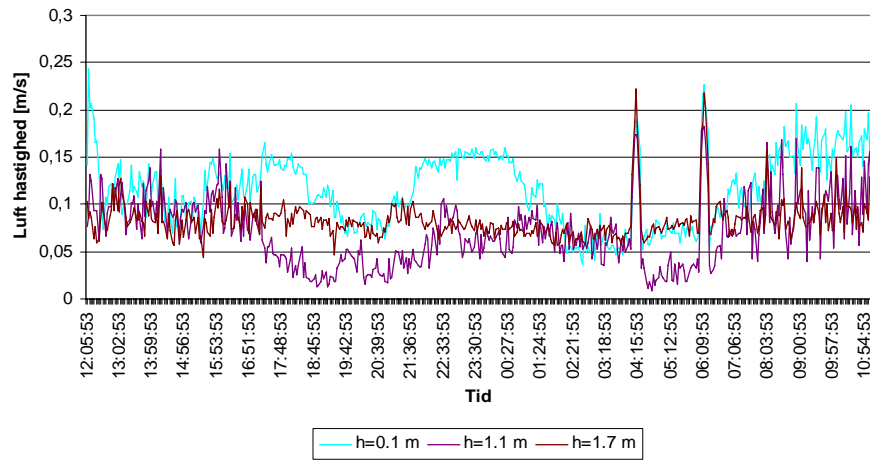
Hastighederne i zone 13 blev målt fra onsdag middag til torsdag formiddag. Placeringen af målepunkterne er vist i Figur 0.33. Det bør bemærkes, at målesøjle 3 er placeret nær vinduet udenfor opholdszonen, og der derfor kan accepteres højere hastigheder i dette punkt.



**Figur 0.33. Målesøjler til måling af lokale lufthastigheder i zone 13.**



Med en turbulensintensitet på 45% og en rumtemperatur på 24°C kan det ud fra Figur 0.1 ses, at hastighederne i opholdszonen skal være mindre end 17 cm/s for at overholde max. 15% utilfredse med træk. Ud fra målingerne i målesøjle 2 ses, at dette også er overholdt en stor del af tiden. Dog er der registreret 0,19-0,20 m/s tirsdag formiddag ved h=0,1 m, hvilket svarer til ca. 20 % utilfredse.

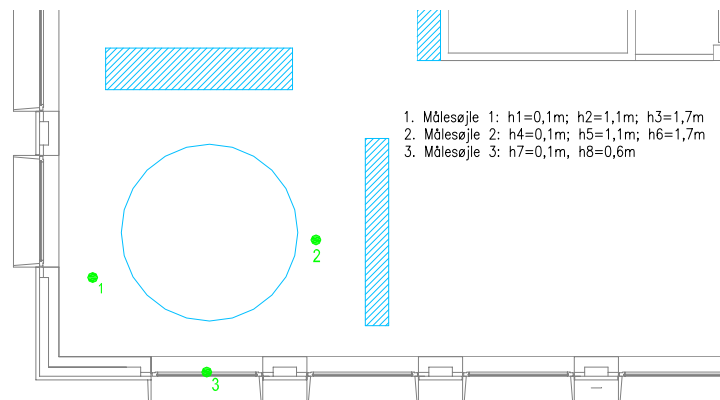


**Figur 0.34. Lufthastigheder målt i målesøjle 2 i zone 13.**

Øvrige måleresultater af lufthastigheder ses i filen Hastighed\_Turbulens i mappen ”vinter”.

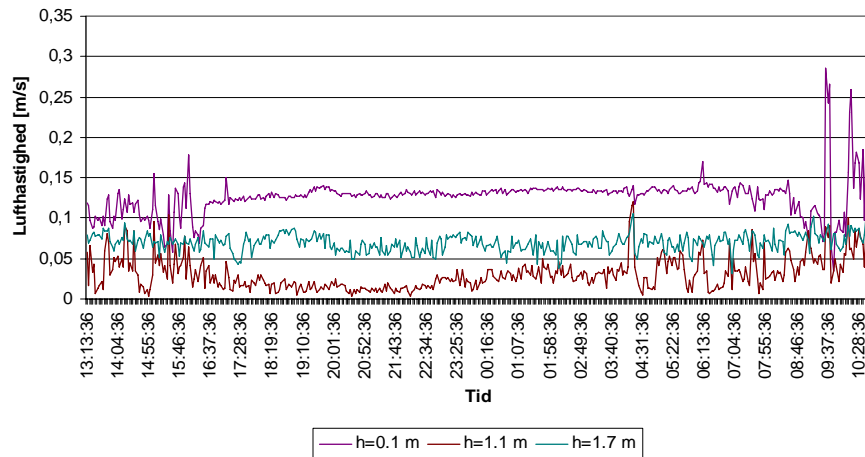
*Zone 39:*

Målingerne i zone 39 er også foretaget i tre målesøjler hvoraf den ene (søjle 3) er placeret udenfor opholdszonen. Målingerne blev foretaget fra torsdag middag til fredag formiddag. Placeringen af målesøjlerne ses i Figur 0.35.



**Figur 0.35. Placering af hastighedsmålinger i zone 39.**

Resultatet af målingerne ses i Figur 0.36. Her ses, at hastigheden den største del af tiden er under 0,17 m/s. Fredag formiddag ses dog en påvirkning af hastigheden nær gulvet i forbindelse med pulsventilationen.



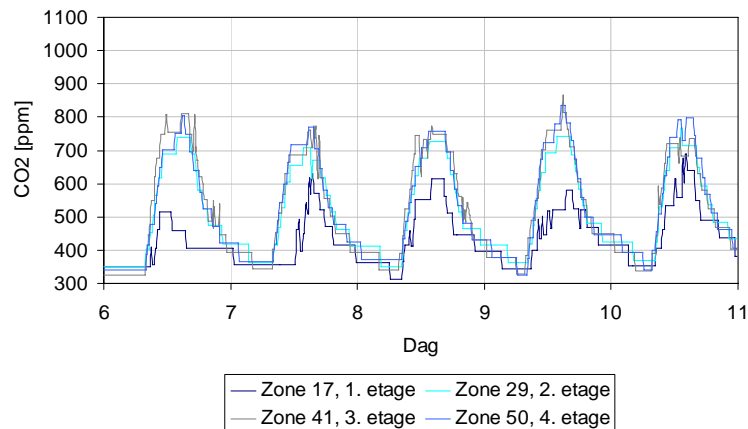
**Figur 0.36. Lufthastigheder målt i målesøjle 2, zone 39.**

### Atmosfærisk komfort

Ved vurdering af det atmosfæriske indeklima indgår dels en vurdering af CO<sub>2</sub>-koncentrationen i bygningen men i både vinter- og forårsmålingerne også den relative luftfugtighed.

### CO<sub>2</sub>-koncentrationen i bygningen

CO<sub>2</sub>-niveauet målt på hver af de fire øverste etager ses i Figur 0.37.

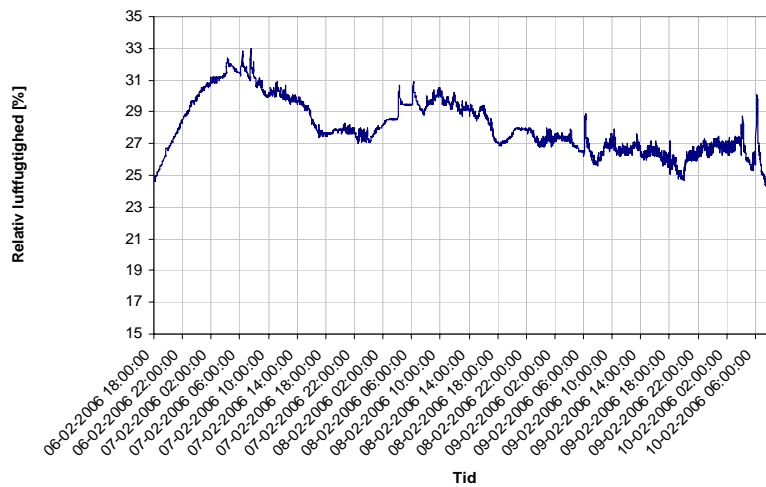


**Figur 0.37. CO<sub>2</sub>-niveauet målt op gennem bygningen i uge 6.**

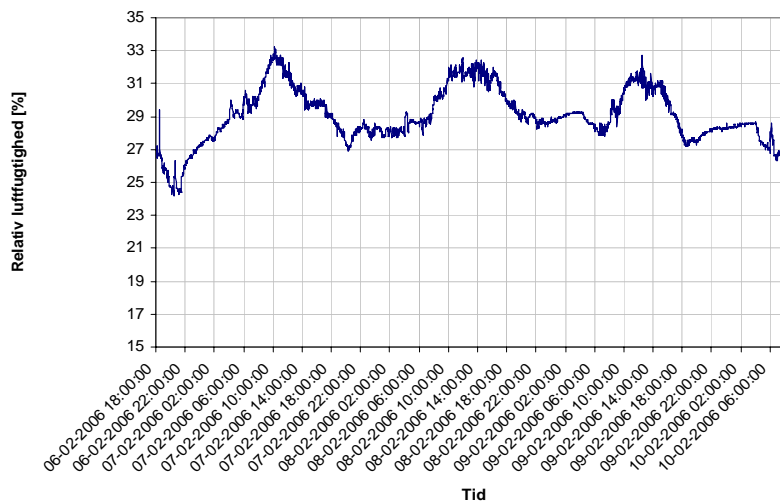
Det fremgår af optegningen, at der er på denne årstid er en lagdeling i bygningen mellem 1. etage og de øvrige tre etager. Lagdelingen skyldes enten øget ventilation på denne etage eller en lagdeling forårsaget af stor temperaturlagdeling i bygningen. Dette vil kunne ses på målingerne af temperatur foretaget i atriet. CO<sub>2</sub>-niveauet er stadig under arbejdstilsynets krav. Det kan derfor konkluderes, at det luftkvaliteten i bygningen er god.

### Relativ luftfugtighed

Den relative luftfugtighed blev målt i zone 13 og 39. Resultaterne af målingerne ses i Figur 0.38 og Figur 0.39.



**Figur 0.38. Den relative luftfugtighed målt i zone 13.**



**Figur 0.39. Den relative luftfugtighed målt i zone 39.**

Det ses af målingerne at den relative luftfugtighed i bygningen varierer mellem 25%-33%. Dette ligger indenfor den anbefalede interval angivet i afsnit 0. Årsagen til den lave luftfugtighed kan findes i udetemperaturen i perioden, som også er meget lav. Det vil derfor være svært at opnå en højere fugtighed i bygningen.

#### *Ventilationskapacitet*

Ventilationskapaciteten i bygningen vurderes både lokalt i zone 13 og 39 og som et gennemsnit for hele bygningen. I denne sammenhæng vurderes også om der forefindes en temperaturgradient op gennem bygningen.

#### *Bestemmelse af lokale luftsifter i zone 13 og 39:*

Bestemmelse af lokale luftsifter blev foretaget på samme måde som i sommer-målingerne. Udeluftkoncentrationen er målt til ca. 380 ppm.

#### *Zone 13:*

Luftskiftet i zone 13 blev vurderet onsdag eftermiddag. Middelluftskiftet i perioden er bestemt omkring  $2,3 \text{ h}^{-1}$  med en gennemsnitsbelastning i zonen på 4,4 personer. Til sammenligning kan nævnes, at det minimalt nødvendige luftskifte i zonen ved opretholdelse af et  $\text{CO}_2$ -niveau på 1000 ppm skal være  $1,5 \text{ h}^{-1}$ , så det fundne luftskifte er tilstrækkeligt.

#### Zone 39:

Luftskiftet i zone 39 blev registreret onsdag eftermiddag. Luftskiftet blev bestemt til at ligge omkring  $2,6 \text{ h}^{-1}$  med en gennemsnitsbelastning i zonen på 3,2 personer. Her er det minimalt nødvendige luftskifte i zonen ved opretholdelse af et  $\text{CO}_2$ -niveau på 1000 ppm beregnet til  $2,3 \text{ h}^{-1}$ .

#### Måling af gennemsnitsluftskifte for bygningen

Middelluftskiftet i bygningen blev vurderet over en måleperiode på  $2\frac{1}{2}$  time fra kl. 7.00 til kl. 9.30, hvor vi antog at bygningen var i fuld drift. Under måleperioden blev antallet af personer i bygningen løbende talt.

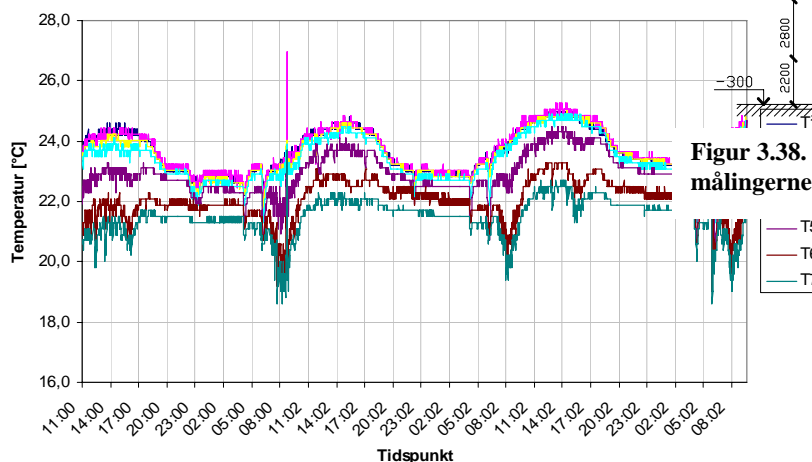
Luftskiftet som er nødvendigt for at opretholde et  $\text{CO}_2$ -niveau på 1000 ppm er beregnet til ca.  $0,5 \text{ h}^{-1}$ . Dette er beregnet for 277 personer, som var det gennemsnitlige antal, der befandt sig i bygningen i perioden hvor målingen blev foretaget.

Middelluftskiftet i måleperioden var været på  $4,9 \text{ h}^{-1}$ . Beregningerne er gennemført på samme måde som i sommersituationen og resultaterne findes i regnearket "Middel luftskifte i bygningen februar", som findes på CD'en i mappen "vinter"

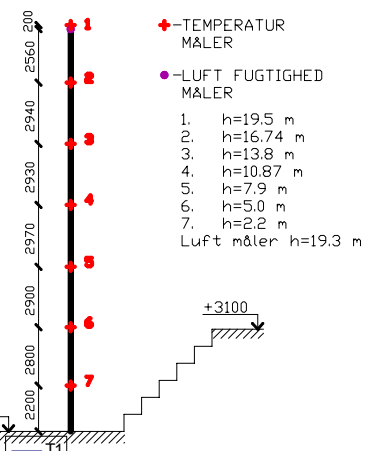
#### Temperaturgradient i bygningen

Ligesom sidst blev temperaturgradienten op gennem bygningen målt på en line lodret gennem atriet.

Som det fremgår af målingerne er den største registrerede temperaturgradient op gennem bygningen kun på ca.  $3^\circ\text{C}$ , hvilket svarer til ca.  $0,2^\circ\text{C}/\text{m}$ . Ud fra dette resultat kan det konkluderes, at der er god opblanding af luft i bygningen.



Figur 0.40a. Måling af temperaturer op gennem atriet. Placeringen af målingerne er angivet på Figur 3.38.



Figur 3.38. Placering af temperaturmålingerne i atriet.

### *Generel vurdering af indeklimaet i en vintersituation*

Ud fra de foretagne undersøgelser af indeklimaet i bygningen kan følgende overordnede forhold konkluderes ved målingerne i en vintersituation.

#### **Termisk komfort**

Der er i enkelte kortvarige perioder målt temperaturer på 25°C, hvilket kan være lige i overkanten i en vintersituation (vurderet ud fra det anbefalede komfortinterval i DS474). Der er ikke problemer med for lave temperaturer i bygningen og generelt set er det termiske indeklime i orden.

#### **Træk**

Der er kortvarigt registreret højere hastigheder i opholdszonerne end anbefalet i DS474, hvis der accepteres højst 15% utilfredse. Registreringerne svarer til ca. 20% utilfredse.

#### **Atmosfærisk komfort**

CO<sub>2</sub>-niveauet i bygningen ligger i vintersituationen, hvor der reguleres efter CO<sub>2</sub> omkring 500-800 ppm, hvilket er under arbejdstilsynets anbefaling på 1000 ppm. Det kan derfor konkluderes, at luftkvaliteten i bygningen er god.

Den relative luftfugtighed er målt til 25%-33%, hvilket er indenfor det anbefale interval.

#### **Ventilationskapacitet**

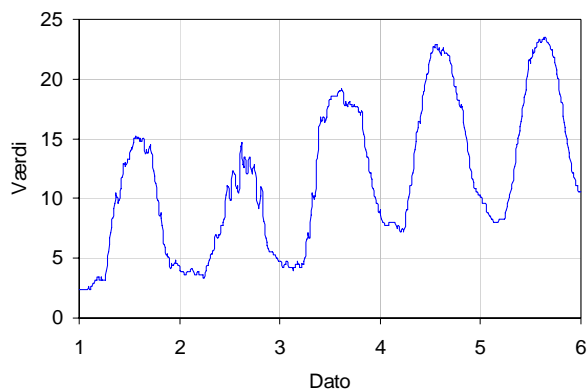
De lokale luftskifter i måleområderne og det totale luftskifte for hele bygningen lå i alle tilfælde højere end det nødvendige luftskifte, og det kan derfor konkluderes, at luftskifterne vurderet i forhold til den atmosfæriske komfort er gode. Dette ses også på den forholdsvis lave værdi af CO<sub>2</sub>-indholdet i bygningen. Også i vintersituationen frarådes det at nedsætte luftskiftet i bygningen, da temperaturen så vil stige, og denne ligger tæt på den øvre grænse af, hvad der er acceptabelt.

### **Forårs-/efterårssituation: Målt i perioden 2.- 4. maj 2006**

Som i de to foregående perioder måles der intensivt på zone 13 (1. etage vestfacade) og zone 39 (3. etage hjørnekontor mod sydøst). Detaljer og beskrivelser for måleområderne ses først i dette kapitel.

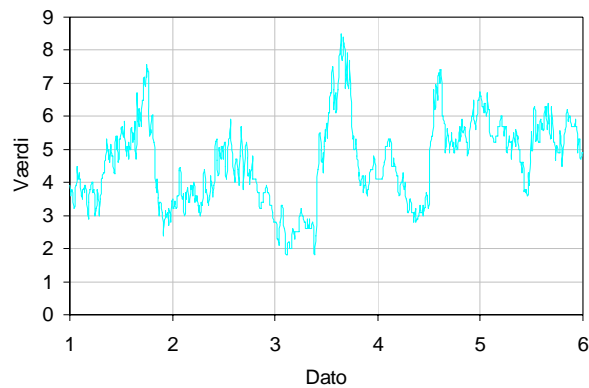
#### *Vejrdata for perioden*

Vejrdata er opsamlet med KE's egne følere. Der var overskyet og regn tirsdag formiddag men de øvrige dage var der sol fra en skyfri himmel. Udetemperaturen i måleperioden er vist i Figur 0.41.

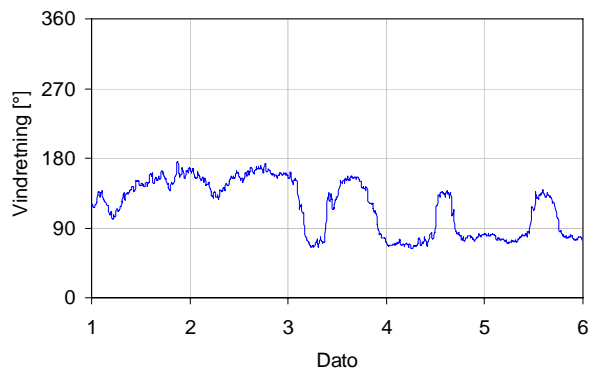


**Figur 0.41. Udetemperaturen i måleperioden.**

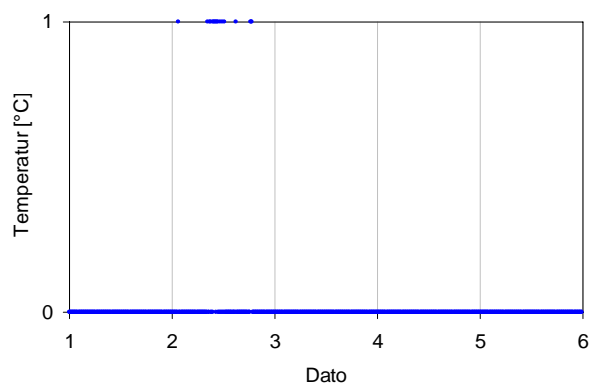
Vindhastighederne lå gennem hele måleperioden mellem 2 og 9 m/s med de højeste hastigheder i løbet af onsdagen. Vindretningen varierede mellem øst og sydøst i måleperioden. Vindhastigheder samt -retning ses i Figur 0.42 og Figur 0.43. Nedbøren i perioden ses i Figur 0.44.



**Figur 0.42. Vindhastigheden i måleperioden.**



**Figur 0.43. Vindretningen i måleperioden.**



**Figur 0.44. Visning af regn og tørvejr i måleperioden. 0=tørvejr, 1=regn.**

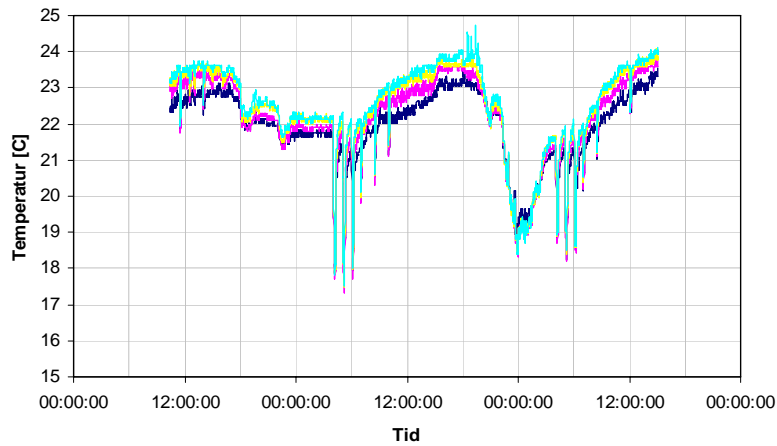
*Termisk komfort*

*Måling af temperaturer i kontorzonerne*

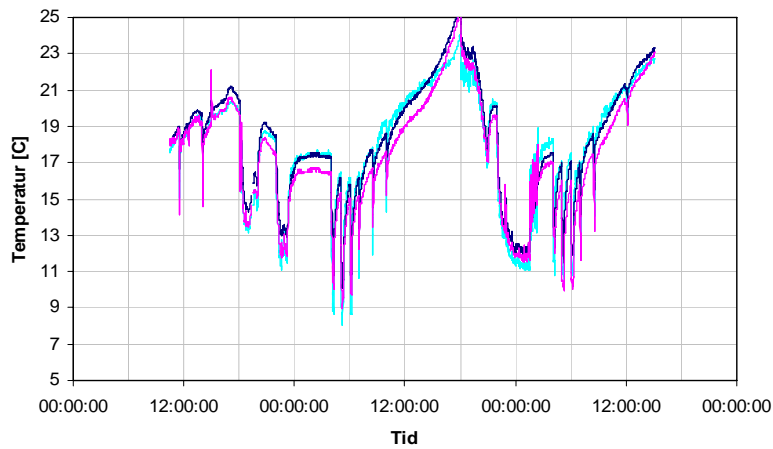
Temperaturmålingerne i zone 13 og 39 blev foretaget i samme målepunkter som i den første måleperiode. Placering af målingerne er angivet på Figur 0.8 og Figur 0.9.

Resultatet af målingerne foretaget i zone 13 fra tirsdag morgen til torsdag aften ses i Figur 0.45 - Figur 0.47.

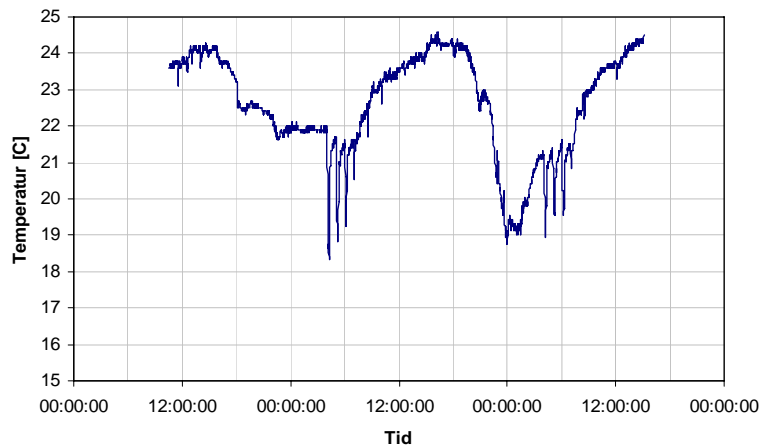
Måledata for denne periode findes desuden på den medfølgende CD i mappen ”forår”



Figur 0.45. Temperaturer målt på målesøjle i zone 13.



Figur 0.46. Temperaturer målt i vinduesåbningerne i zone 13.

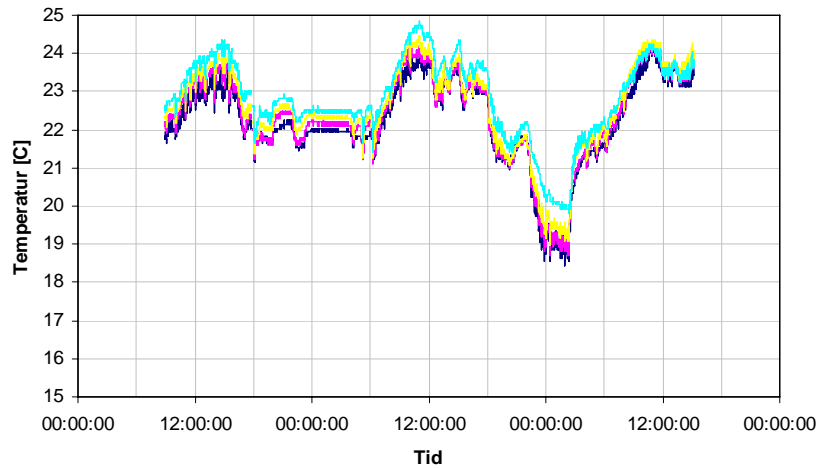


Figur 0.47. Temperatur målt på skrivebord i zone 13.

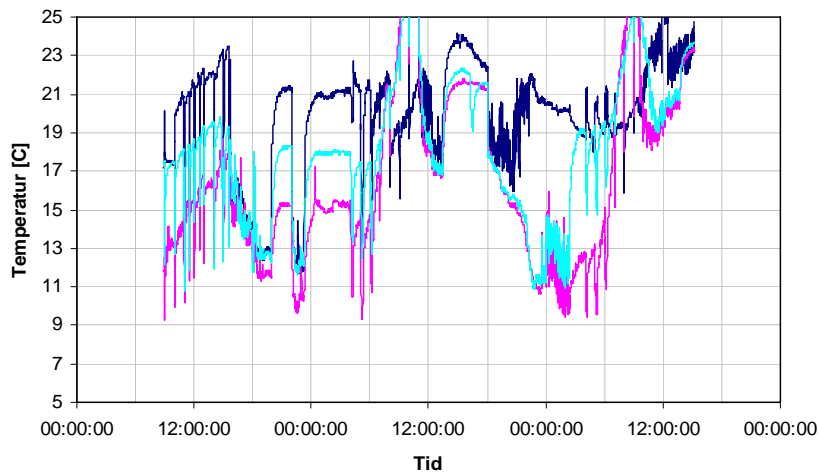
Ud fra målingerne kan det konstateres, at temperaturerne i zone 13 ligger mellem 21°C og 24°C indenfor arbejdstiden. De høje temperaturer registreret i vinduerne onsdag aften skyldes, at følerne blev ramt af den lave sol.

Temperaturgradienten mellem 0,1 m og 1,1 m er også i denne måleperiode ca. 1°C, hvilket er acceptabelt.

Temperaturerne målt i zone 39 ses i Figur 0.48 - Figur 0.50. Målingerne er foretaget fra tirsdag morgen til torsdag aften. Samtlige måledata for denne zone findes i samme dokument som for zone 13.

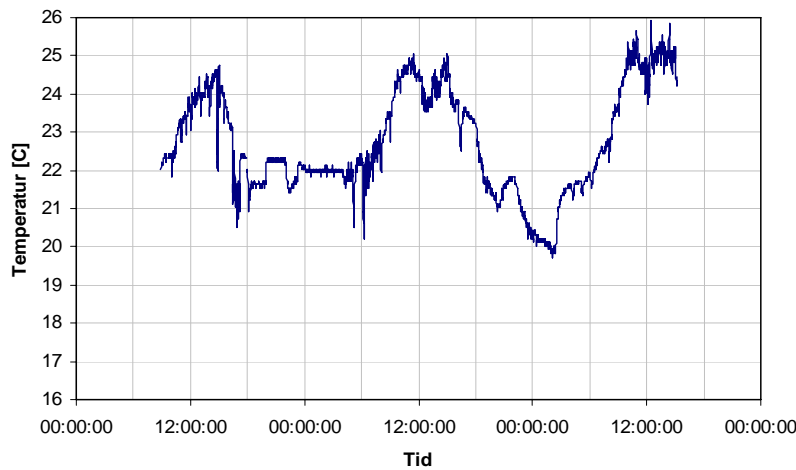


Figur 0.48. Temperaturer målt på målesøjle i zone 39.



Figur 0.49. Temperaturer målt i indtaget ved vinduerne i zone 39.





**Figur 0.50. Temperatur målt på skrivebord i zone 39.**

Temperaturene målt på målesøjlen i zone 39 ligger mellem 21°C og 25°C, hvilket er et fint interval. På skrivebordet er der torsdag eftermiddag målt op til 26°C, hvilket er i den øvre ende af komfortintervallet i en sommersituation, men dog stadig acceptabelt.

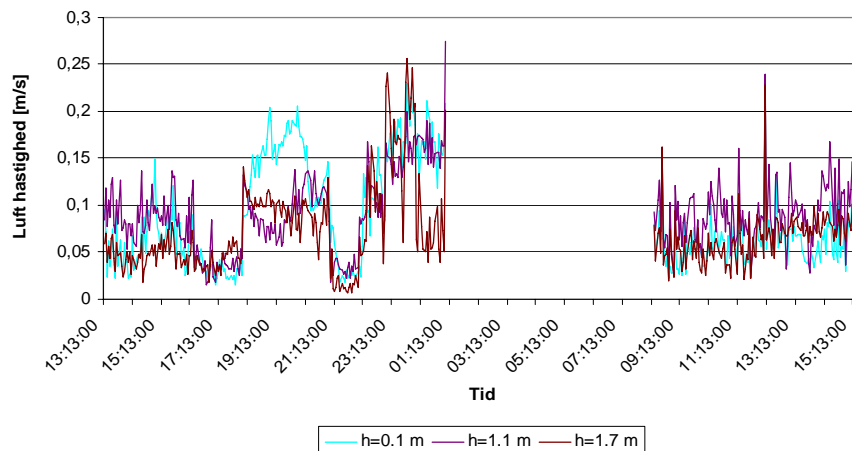
På temperaturkurven for vinduesåbningerne ses, at der luftes ud i længere perioder i dagstimerne. Dette genspejles også i rumtemperaturen. Desuden ses, at natkølingen er aktiveret i en længerevarende periode natten mellem onsdag og torsdag. Årsagen til, at denne ikke er aktiveret i et tilsvarende tidsrum natten mellem tirsdag og onsdag er, at alle åbninger blev holdt lukkede i løbet af aftenen for at foretage en måling af infiltrationsluftskiftet.

#### *Måling af lokale lufthastigheder (træk)*

Hastighederne i begge zoner blev målt kontinuert i ca. et døgn. Målingerne består af middelværdier for 3 minutter ad gangen som løbende er registreret af dataloggeren. Der regnes med en turbulensintensitet på 45% og en rumtemperatur på 24°C. Ud fra dette kan det i Figur 1.1 ses, at hastighederne i opholdszonen skal være mindre end 17 cm/s for at overholde max. 15% utilfredse med træk.

#### *Zone 13:*

Hastighederne i zone 13 blev målt fra onsdag middag til torsdag eftermiddag, dog med afbræk torsdag nat, hvilket ikke har betydning for resultatet. Placeringen af målepunkterne var den samme som under vintermålingerne, dog er målesøjle 3 udeladt, da denne ikke er placeret i opholdszonen. Resultatet af målingerne i målesøjle 2 ses i Figur 0.51.



**Figur 0.51. Lufthastigheder målt i målesøjle 2 i zone 13.**

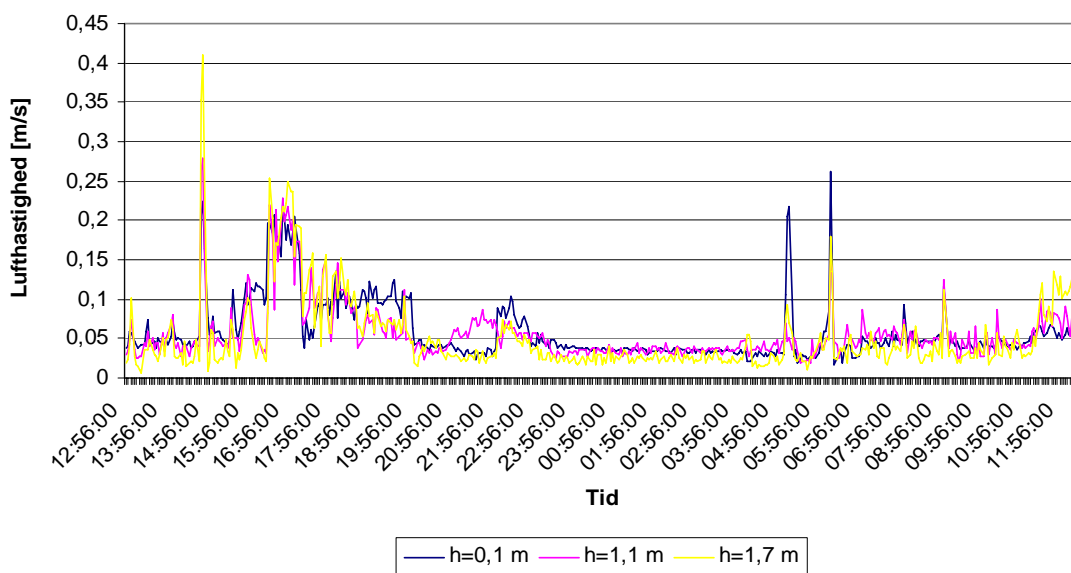
Ud fra målingerne i målesøjle 2 ses, at de målte hastigheder overholder kravet på 0,17 m/s i arbejdstiden.

Øvrige måleresultater af lufthastigheder ses i filen Hastighed\_Turbulens i mappen "forår".

*Zone 39:*

Målingerne i zone 39 blev denne gang foretaget i de to målesøjler placeret i opholdszonen (målesøjle 1 og 2 på Figur 0.35). Målingerne blev foretaget fra tirsdag formiddag til onsdag middag.

Resultatet af målinger ses i Figur 0.52. Her ses, at hastigheden den største del af tiden er under 0,15 m/s i arbejdstiden. Dog er der i en periode på 10 minutter tirsdag eftermiddag omkring kl. 15 målt hastigheder op til 0,4 m/s, men dette antages at skyldes en manuel åbning af et vindue for udluftning.



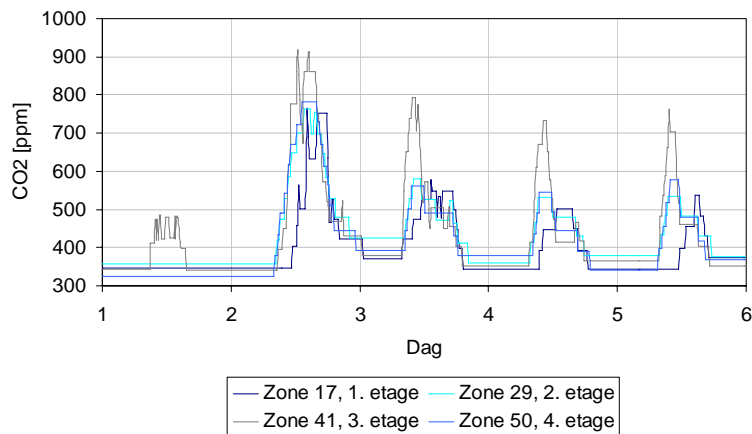
**Figur 0.52. Lufthastigheder målt i målesøjle 1, zone 39.**

### *Atmosfærisk komfort*

Ved vurdering af det atmosfæriske indeklima indgår dels en vurdering af CO<sub>2</sub>-koncentrationen i bygningen og den relative luftfugtighed målt i zone 13 og 39.

### *CO<sub>2</sub>-koncentrationen i bygningen*

CO<sub>2</sub>-niveauet målt på hver af de fire øverste etager ses i Figur 0.53.



**Figur 0.53. CO<sub>2</sub>-niveauet målt op gennem bygningen.**

I samtlige målinger er det registrerede CO<sub>2</sub>-niveau under 1000 ppm. Det ses på målingerne, at ventilationen tirsdag var begrænset pga regnvejr. Der er på 3. etage registreret højere niveauer end på de øvrige etager, men dette skyldes sandsynligvis den større mængde af medarbejdere på etagen i forhold til de øvrige etager i denne måleperiode.

#### *Relativ luftfugtighed*

Den relative luftfugtighed blev målt i zone 13 og 39. RF er i måleperioden blev målt til 45%-53%, hvilket passer fint med det anbefalede interval.

#### *Ventilationskapacitet*

Ventilationskapaciteten i bygningen vurderes både lokalt i zone 13 og 39 og som et gennemsnit for hele bygningen. I denne sammenhæng vurderes også om der forefindes en temperaturgradient op gennem bygningen.

Desuden vurderes bygningens tæthed ved at måle infiltrationen i bygningen. Dette blev gjort tirsdag aften.

#### *Bestemmelse af lokale luftskifter i zone 13 og 39:*

Bestemmelse af lokale luftskifter blev foretaget på samme måde som i sommer-målingerne. De lokale luftskifter blev vurderet onsdag formiddag i begge zoner. I denne periode blev middel-udeluftkoncentrationen målt til 367 ppm.

##### *Zone 13:*

Middelluftskiftet i perioden er bestemt omkring  $1 \text{ h}^{-1}$  med en gennemsnitsbelastning i zonen på 3,4 personer. Til sammenligning kan nævnes, at det minimalt nødvendige luftskifte med samme belastning i zonen og opretholdelse af et CO<sub>2</sub>-niveau på 1000 ppm skal være  $0,7 \text{ h}^{-1}$ , så det fundne luftskifte er tilstrækkeligt.

##### *Zone 39:*

Luftskiftet blev bestemt til at ligge omkring  $4 \text{ h}^{-1}$  med en gennemsnitsbelastning i zonen på 4,4 personer. Her er det minimalt nødvendige luftskifte i zonen ved opretholdelse af et CO<sub>2</sub>-niveau på 1000 ppm beregnet til  $2,6 \text{ h}^{-1}$ .

#### *Måling af gennemsnitsluftskifte for bygningen*

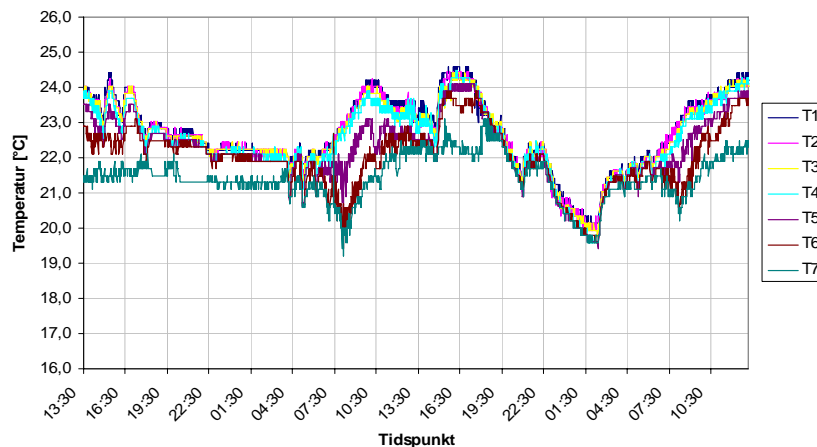
Middelluftskiftet i bygningen blev vurderet over en måleperiode på 2½ time fra kl. 7.00 til kl. 9.40 onsdag formiddag, hvor vi antog at bygningen var i fuld drift. Under måleperioden blev antallet af personer i bygningen løbende talt.

Luftskiftet som er nødvendigt for at opretholde et CO<sub>2</sub>-niveau på 1000 ppm er beregnet til ca. 0,5 h<sup>-1</sup>. Dette er beregnet for 257 personer, som var det gennemsnitlige antal der befandt sig i bygningen i perioden hvor målingen blev foretaget.

Middelluftskiftet i måleperioden var på 4,9 h<sup>-1</sup>. Beregningerne er gennemført på samme måde som i sommersituationen og resultaterne findes i regnearket ”Middel luftskifte i bygningen maj”, som findes på CD’en i mappen ”forår”.

### Temperaturgradient i bygningen

Resultaterne af temperaturmålingerne i atriet er vist i Figur 0.54. Det fremgår af målingerne, at den største registrerede temperaturgradient op gennem bygningen kun er ca. 3°C. Dette svarer til ca. 0,2°C/m, og der er derfor også i forårssituationen god opblanding af luft i bygningen.



Figur 0.54. Måling af temperaturer op gennem atriet. Placeringen af målingerne er angivet på Figur 3.38.

### Vurdering af infiltrationsluftskifte

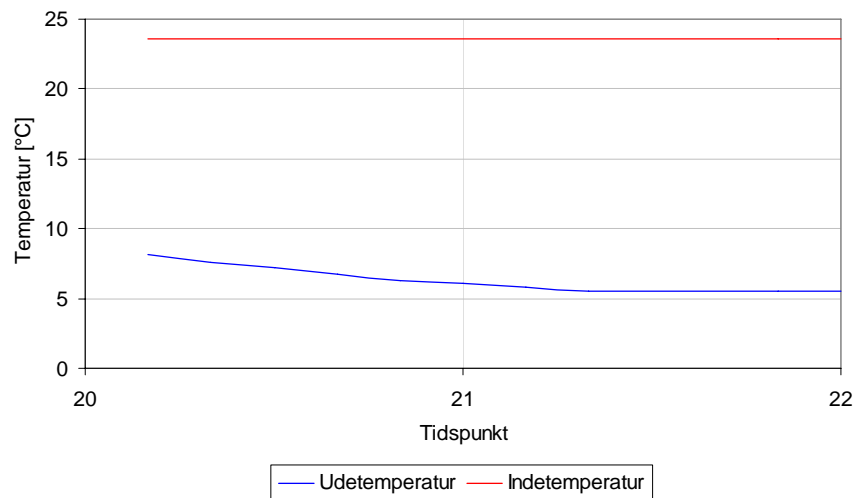
Vurderingen af infiltrationsluftskiftet blev foretaget i en tom bygning, hvor alle åbninger er lukkede. Alle vinduer blev lukket kl. 16.00 på forsøgsdagen for at forøge CO<sub>2</sub>-koncentrationen i bygningen, men pga af fejl i programmeringen af vinduerne åbnedes disse kl. 19.30 – 20.00 og igen kl. 22. Beregningerne er derfor kun foretaget for en begrænset periode mellem kl. 20 og 22.

Infiltrationsluftskiftet vurderes både ud fra afklingningskurver målt med AAU’s CO<sub>2</sub>-følere i zone 13 og 39 samt ud fra et gennemsnit af de målinger, der er foretaget i bygningen med KE’s følere. Beregninger er foretaget på samme måde som i sommermålingerne.

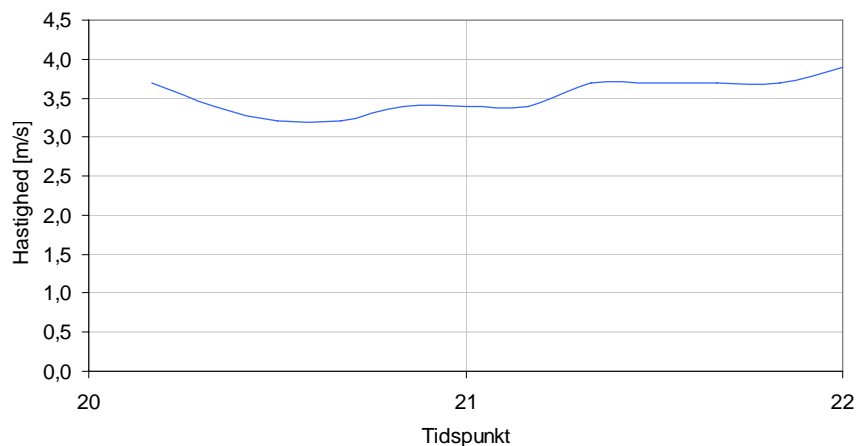
Resultatet af målingerne i zone 13 og 39 giver et infiltrationsluftskifte på ca. 0,16 h<sup>-1</sup>. Målingerne med KE-følerne, som er foretaget som en middelværdi for hele bygningen angiver et infiltrationsluftskifte på 0,1 h<sup>-1</sup>. Ligesom de forrige målinger giver dette et lavt

infiltrationsluftskifte i bygningen, men dog en anelse højere end infiltrationsluftskiftet målt i sommerperioden.

Til vurdering af temperaturforskellen mellem ude og inde samt vindens hastighed i perioden, optegnes kurverne i Figur 0.55 og Figur 0.56.



**Figur 0.55. Ude- og indetemperatur i måleperioden for infiltrationsluftskifte.**



**Figur 0.56. Vindens hastighed i måleperioden for infiltrationsluftskifte.**

Det fremgår af både temperaturforskellen mellem ude og inde i bygningen samt vindens hastighed at disse parametre er højere end ved de foregående målinger, hvilket også ses i det lidt højere infiltrationsluftskifte. Dog må bygningens infiltrationsluftskifte stadig betragtes som lavt.

#### *Generel vurdering af indeklimaet i en forårssituation*

Ud fra de foretagne undersøgelser af indeklimaet i bygningen kan følgende overordnede forhold konkluderes ved målingerne i en forårssituation.

#### **Termisk komfort**

Der er målt temperaturer mellem 21°C og 26°C, hvilket er et stort spænd vurderet ud fra det anbefalede komfortinterval i DS474. Ud fra de skiftende udetemperaturer i perioden, hvor vejret stort set skiftede om fra vinter til sommer, er dette dog acceptabelt.

Temperaturgradienterne i kontorerne er alle under det anbefalede.

### **Træk**

Det generelle niveau af de lokale hastigheder målt i opholdszonerne i zone 13 og 39 giver ikke anledning til træk. Dog er der i zone 39 målt højere hastigheder i forbindelse med en manuel vinduesåbning, men dette bør ikke inddrages i måleresultaterne, som skal vurdere effekten fra den automatiske åbning af vinduerne.

### **Atmosfærisk komfort**

CO<sub>2</sub>-niveauet i bygningen ligger i også i forårssituationen mellem 500-800 ppm, hvilket er under arbejdstilsynets anbefaling på 1000 ppm. Det kan derfor konkluderes, at det luftkvaliteten i bygningen er god. Desuden blev den relative luftfugtighed målt til 45%-53%, hvilket også passer fint med det anbefalingen.

### **Ventilationskapacitet**

De lokale luftskifter i måleområderne og det totale luftskifte for hele bygningen lå ligesom de tidligere målinger alle højere end det nødvendige luftskifte. Det konkluderes, at luftskifterne vurderet i forhold til den atmosfæriske komfort er gode.

Da temperaturerne i zonerne er tæt på den øvre grænse anbefales det heller ikke i denne periode at nedsætte luftskiftet i bygningen, da temperaturen så vil stige og hermed give diskomfort.

Bygningens infiltrationsluftskifte blev vurderet til at ligge mellem 0,1 og 0,16 h<sup>-1</sup>. Bygningen kan derfor betragtes som værende tæt.

## Spørgeskemaundersøgelse

For at undersøge hvad brugerne af bygningen mener om bygningens indeklime blev der i perioden 22/8-16/9 foretaget en spørgeskemaundersøgelse, hvor spørgeskemaer blev omdelt til samtlige 650 medarbejdere i bygningen. Der er returneret 366 besvarelser (56%) og en summering af resultaterne er indskrevet i spørgeskemaet i ”Bilag G: Spørgeskemaundersøgelse”.

Ved vurdering af svar, der er foretaget på linierne i skemaerne, er der givet point fra 0-10 således, at 0 altid angiver svarmuligheden længst mod venstre. Skalaen fremgår af Figur 0.1.



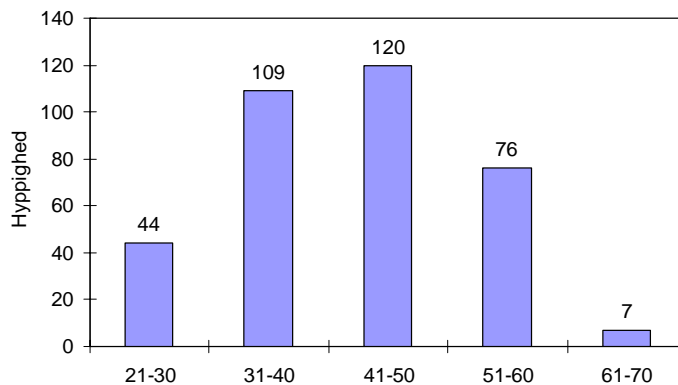
Figur 0.1. Skala brugt til vurdering af besvarelser i spørgeskema.

Skalaen er tidligere brugt i spørgeskemaundersøgelser foretaget af SBI, hvor der er opnået gode erfaringer med denne type skala, da den adspurgte skal forholde sig til forholdene på en mere aktiv måde end hvis der bare sættes kryds i en kasse.

Inden der foretages en vurdering af bygningen opdelt i forskellige zoner (afsnit 0) opsummeres i afsnit 0 de generelle resultater fra spørgeskemaet.

### Generel vurdering

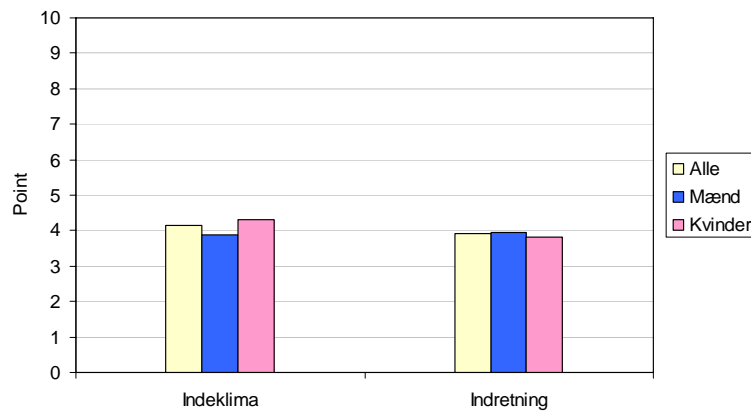
Der er som før nævnt afleveret 366 besvarelser, hvoraf 190 er fra mænd og 174 fra kvinder. To personer har ikke angivet køn. Aldersfordelingen af angivet i Figur 0.2. 10 personer har ikke angivet alder.



Figur 0.2. Aldersfordeling i de afleverede spørgeskemaer.

### 1.1.1.3 Helhedsindtryk

Indledningsvist i spørgeskemaet er der spurgt om en generel vurdering af indeklime og komfort i bygningen samt om indretningen af kontoret imødekommer brugerens behov. Svarene på dette er angivet i Figur 0.3, hvor svarene er opdelt i alle, mænd og kvinder. Her fremgår det, at kvinderne er lidt mere utilfredse med indeklimeet i bygningen end mændene, og at det generelle indtryk af indeklimeet i bygningen ligger på 4,1, hvilket snarer til en positiv vurdering. Vurderingen af indretningen i bygningen er en anelse mere positiv, da denne har fået 3,93 point. Her er der ikke samme spredning mellem mænd og kvinder.



Figur 0.3. Generel vurdering af indeklima og indretning (0: tilfredsstillende, 10: ikke tilfredsstillende).

#### 1.1.1.4 Vurdering af den automatiske regulering i bygningen

Ved vurdering af den automatiske regulering i bygningen er følgende bl.a. nævnt ved de skriftlige tilkendegivelser i spørgeskemaet.

- Der bliver ofte varmt om eftermiddagen
- Det trækker
- Dårlig luft i mødelokaler/stillerum
- Dårlig udsugning i rygerum
- Det føles som om vinduerne åbner og lukker som de vil
- Det ville være rart at kunne tænde/slukke lyset selv i stedet for at skulle blafre med armene

Mht rygerummene blev det også noteret under måle-besøget i bygningen, at dørene ofte står åbne ind til disse rum. Dette gør at hele området omkring rygerummet lugter af røg.

#### 1.1.1.5 Vurdering af information og opfølgning

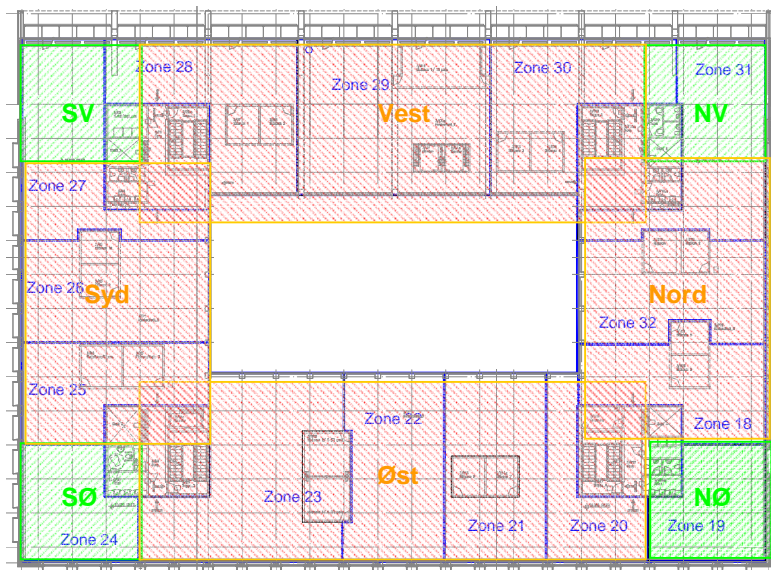
Som det sidste i spørgeskemaet blev der spurgt, om medarbejderne har modtaget information om, hvordan de automatiske reguleringssystemer fungerer, og hvad de kan gøre for at forbedre indeklimaforholdene i kontoret, hvis de synes, de er utilfredsstillende. Til dette svarede kun ca 1/3 ”ja” (110 personer) til trods for, at WindowMaster har udarbejdet en brugervejledning til systemet. Hvordan er denne vejledning uddelt? Meningen hos ja-sigerne om informationen er næsten neutral (4,6 point).

Under samme punkt spørges der, om der nogensinde er udtrykt ønske om af få ændret på styringen af den naturlige ventilation eller belysningen. Til dette svarer 236 personer ”ja”, men herefter svarer 127, at forespørgslen ikke har givet noget resultat. 109 personer mener det har givet resultat, men vurderingen af ændringen er neutral (5,0 point).

#### Vurdering ud fra zoneopdeling

Da nogle gener vil være dominerende efter hvor i bygningen man befinder sig, opdeles bygningen i 9 zoner. Stueetagen ses som én zone, da denne hovedsageligt er mekanisk ventileret og langt de fleste personer befinder sig i den nordlige ende. På de øvrige etager foretages en retningsbestemt opdeling, som ses på Figur 0.4.





Figur 0.4. Opdeling af zoner på 1. til 4. etage.

Ved denne opdeling fås følgende fordeling af besvarelserne:

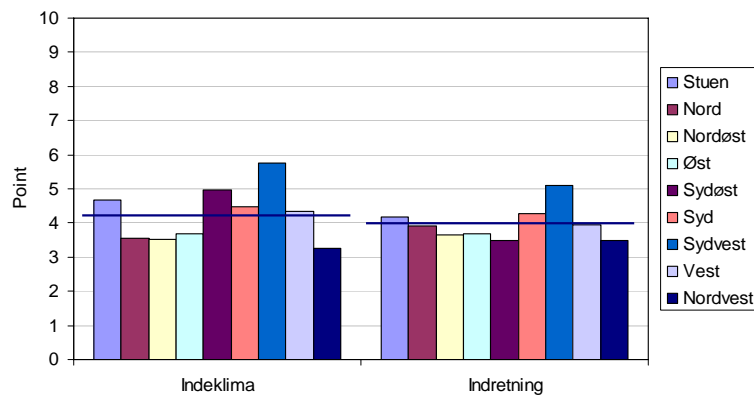
Zone	Stuen	Nord	Nordøst	Øst	Sydøst	Syd	Sydvest	Vest	Nordvest
Antal	26	48	23	96	20	47	24	55	21

### Helhedsindtryk

Besvarelserne ved vurderingen af indeklimate og komfort samt indretningen af kontoret er angivet i Figur 0.5 for de 9 forskellige zoner i bygningen. Spørgsmålene var som følger:

Spørgsmål 2.1: *Alt taget i betragtning, hvordan vil du generelt set vurdere indeklimaet og den almene komfort i bygningen på denne årstid?*

Spørgsmål 2.2: *Imødekommer kontorets indretning generelt set dine behov?*

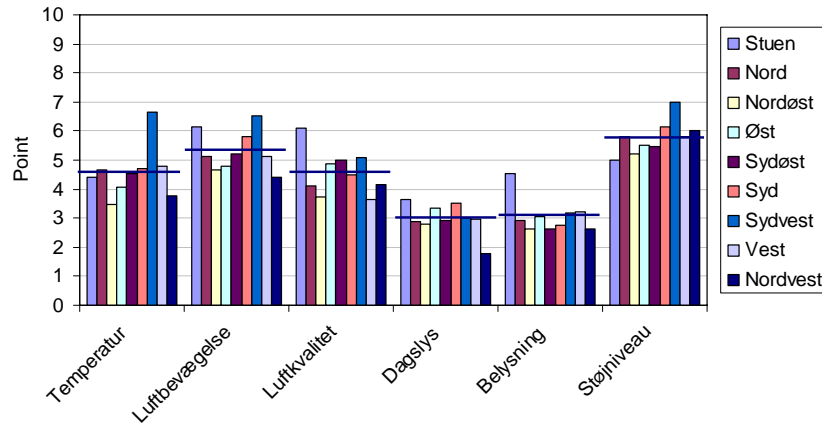


Figur 0.5. Den generelle vurdering af indeklimate og komfort (2.1) samt indretningen af kontoret (2.2) (0: tilfredsstillende, 10: ikke tilfredsstillende)

Af vurderingen ses, at der i samtlige zoner på nær sydvest er en positiv indstilling til indeklimaet og indretningen. Da 5 point må angives som neutral er vurderingen ikke helt i top, hvilket også bekræftes i de kommende spørgsmål.

### Indeklimaet i kontoret på denne årstid

I denne rubrik skulle der tages stilling til de typiske indeklimate mæssige tilstande på kontoret på denne årstid. Besvarelsene er inddelt i en generel vurdering, og herunder en vurdering af de gener der kan fremkomme ved de forskellige faktorer. Fx ved temperatur underinddeles i for varmt, for koldt og for varierende. De overordnede svar er angivet i Figur 0.6. Besvarelsene gennemgås i de følgende afsnit.

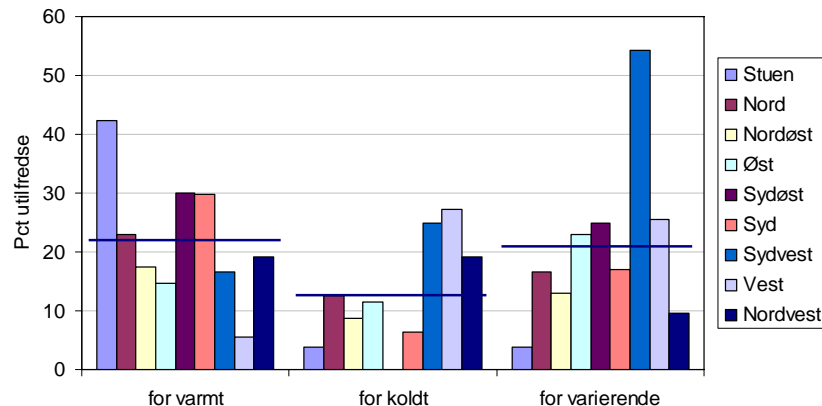


Figur 0.6. Vurdering af indeklimaet i kontoret (0: tilfredsstillende, 10: ikke tilfredsstillende).

### 1.1.1.6

### 1.1.1.7 Temperatur

Ved den overordnede vurdering ses, at områderne mod sydvest er væsentligt mere utilfredse med temperaturen i kontoret end de øvrige. Forklaringen på dette må være, at området er eksponeret for sol en stor del af dagen, da der både er vinduesarealer mod syd og vest. Ved at se på markeringerne under temperatur fås resultatet i Figur 0.7.



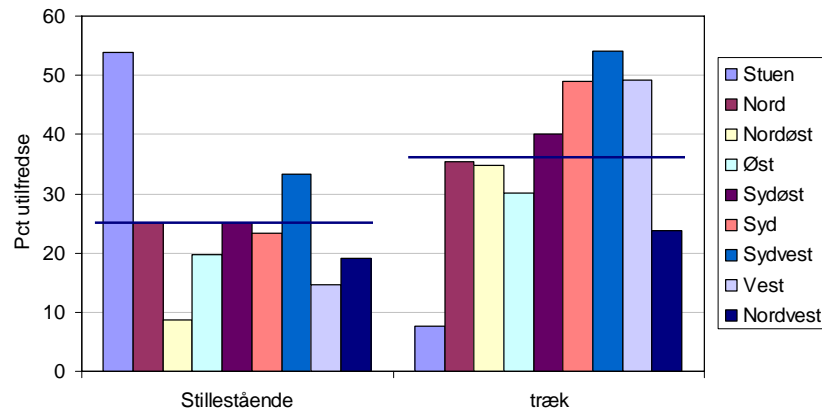
Figur 0.7. Svarangivelser ved vurdering af temperaturen.

I Figur 0.7 ses, at over halvdelen af medarbejderne i zonerne mod sydvest klager over varierende temperaturer, hvilket udskiller sig meget fra besvarelsene i resten af bygningen. Årsagen til dette må netop være placeringen i hjørnet af bygningen, som nemt kan give høje temperaturer op ad dagen. En løsning på problemet kan være øget brug af solafskærmning. Ved måle-opholdet virkede det ikke som om, at den manuelle solafskærmning blev brugt med mindre medarbejderne direkte fik solen i ansigtet. Afskærmningen bør også bruges i de tilfælde, hvor solen står ind uden at genere nogen.

I stueetagen ses det, at mange af medarbejderne synes der er for varmt i deres zone. Denne zone er hovedsageligt mekanisk ventileret, og en ændring af dette bør være forholdsvis nem.

### 1.1.1.8 Luftbevægelse

Også ved dette punkt udskiller stueetagen samt zonerne mod sydvest sig lidt fra de øvrige zoner. Den detaljerede vurdering af dette punkt er angivet i Figur 0.8.

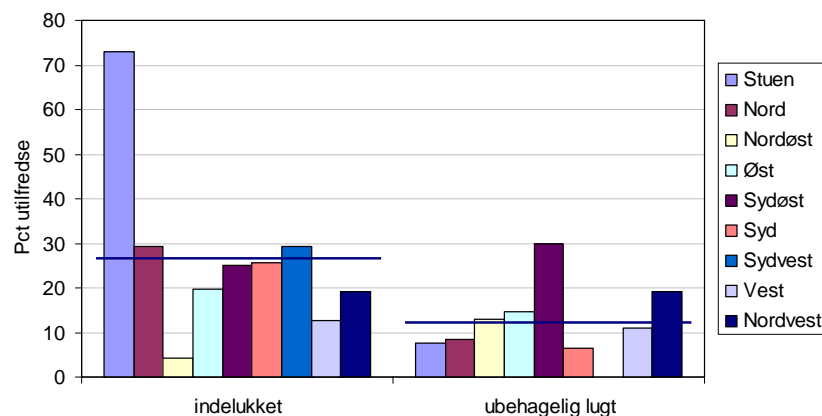


Figur 0.8. Vurdering af luftbevægelse i kontorerne.

Ved vurderingen af luftbevægelse i kontorerne ses der tydeligt forskel mellem området med mekanisk ventilation (stueetagen) og de øvrige zoner, som alle er naturligt ventilerede. I det mekanisk ventilerede område er 54% utilfredse med stillestående luft, hvilket stemmer godt overens med angivelserne i samme zone af for høje temperaturer. I de øvrige zoner er der en del klager over træk. Dette angives også skriftligt i en stor del af spørgeskemaerne. Problemerne er især udtalte i de zoner man kan betegne som varme zoner pga det større solindfald (SØ, S, SV, V). I disse zoner vil der typisk blive ventileret mere pga højere temperaturer og dermed også være større risiko for træk.

### 1.1.1.9 Luftkvalitet

Ved vurderingen af luftkvaliteten ses igen en stor forskel mellem det mekanisk og naturligt ventilerede område, se Figur 0.9.



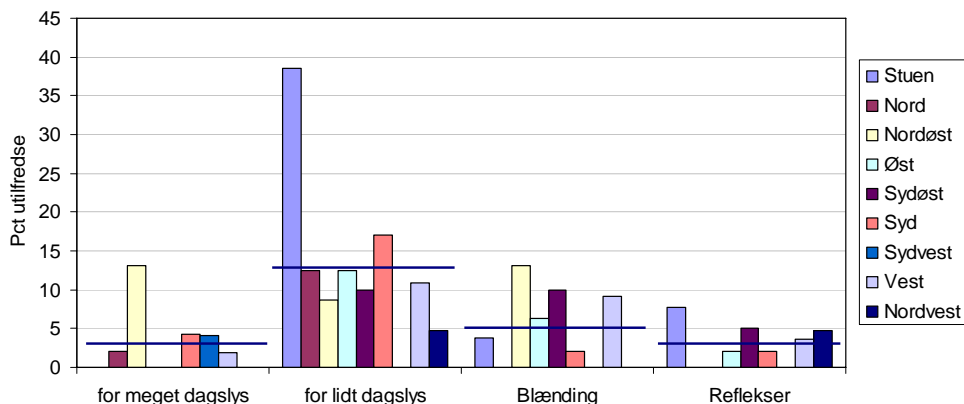
Figur 0.9. Vurdering af luftkvalitet.

I det mekanisk ventilerede område føler 73% luften som indelukket. Igen kan dette forklares med et evt lavt luftskifte og høje temperaturer. I de naturligt ventilerede zoner er der stort set ingen klager over luftkvaliteten. Dog klager 30% i sydøst-zonerne over ubehagelig lugt. Dette kan forklares med madlugten fra køkkenet, som spredes op i bygningen, og som især er

dominerende i dette område. Denne kilde til lugten er også angivet i flere af de skriftlige besvarelser.

### 1.1.1.10 Dagslys

Dagslysniveauet i bygningen opfattes generelt som værende godt, se Figur 0.10. Dog er der i stueetagen 38% utilfredse pga for lidt dagslys. Dette må skyldes placeringen af det nordvendte kontorareal.

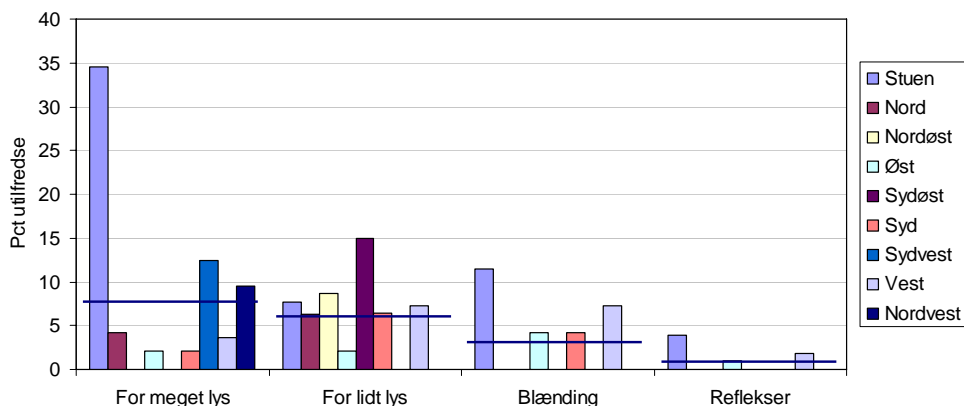


Figur 0.10. Vurdering af gener fra dagslys i kontorerne.

### 1.1.1.11

### 1.1.1.12 Belysning

Ved vurderingen af den elektriske belysning er der også generelt en positiv opfattelse, se Figur 0.11. Igen er der lidt flere der klager i stueetagen, hvor 34% mener der er for meget belysning. Dette stemmer ikke helt overens med svarerne ved daglyset, men det kan skyldes at belysningen i området virker generende.

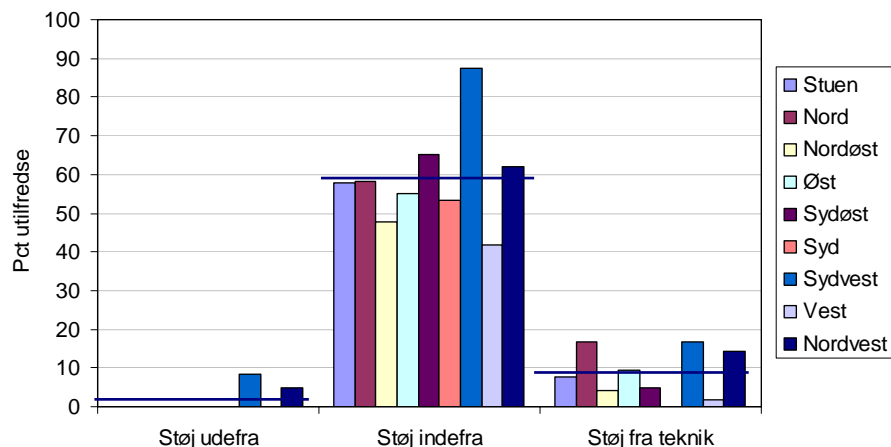


Figur 0.11. Vurdering af gener fra belysningen i kontorerne.

Under de skriftlige besvarelser i spørgeskemaet er der flere der har angivet problemer med belysningen udenfor "normal" arbejdstid. Her slukker lyset automatisk, hvis der ikke er aktivitet i zonen, men ved stille kontorarbejde registreres medarbejderne heller ikke, og de skal derfor af og til blaffe med armene for at tænde lyset igen.

### 1.1.1.13 Støjniveau

Vurderingen af støjniveauet i bygningen er overordnet set vurderet negativt med en middelværdi på 5,7. Opdeles kilderne til støj fås resultatet i Figur 0.12.



Figur 0.12. Vurdering af gener fra støj i bygningen.

Ved vurderingen af gener fra støj ses det, at det hovedsageligt er støj indefra bygningen der generer. Generelt set er ca 55% utilfredse med støj indefra bygningen. Dog er det i sydvest-zonerne 88%. Kilderne til støjen inde i bygningen er kollegers snakken med hinanden men også støj fra atriets, støj fra sofaområder, telefonsamtaler og ringetoner fra mobiltelefoner bliver nævnt som kilder til støj.

Desuden nævnes det, at væggene mellem stillerummene er meget dårligt lydisolerede.

#### Regulering af indeklimaet på denne årstid

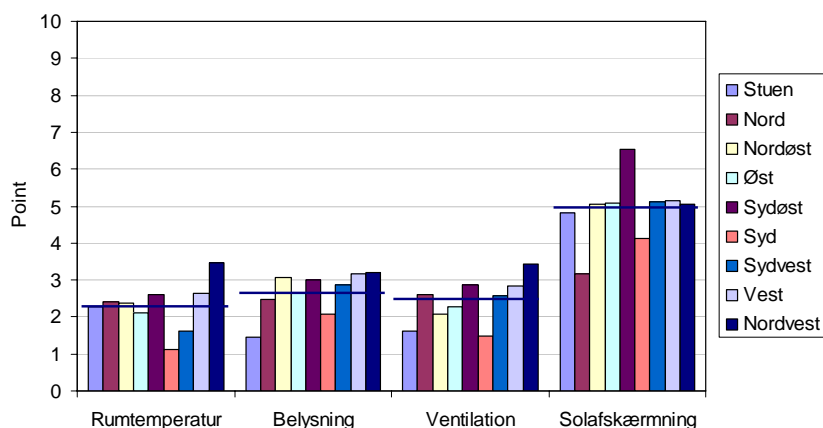
Besvarelsenerne til dette spørgsmål er inddelt i *mulighed for at regulere*, *behov for at regulere* og endelig *hvor hurtigt der sker en ændring ved regulering*. Resultaterne af disse gennemgås i det følgende:

### 1.1.1.14 Dine personlige muligheder for at regulere

Ved vurdering af de personlige muligheder for at regulere rumtemperaturen og ventilationen er der en negativ vurdering i alle zoner. 0 point angiver i denne sammenhæng ingen personlig mulighed og 10 angiver fuld personlig mulighed, se Figur 0.13. Denne vurdering bør ses sammen med den generelle utilfredshed der er med træk i kontorerne (jf Figur 0.8).

Muligheden for at regulere belysningen er heller ikke vurderet særligt højt, hvilket også passer godt sammen med almenbelysningen, som ikke kan reguleres. Dog har alle mulighed for at tænde en lampe på sin egen skrivebordsplads.

Ved mulighederne for at regulere solafskærmningen er vurderingen omkring neutral, hvilket dog strider imod, at der er manuel solafskærmning i alle vinduer. Bliver denne sjældent brugt? Dette kunne også være årsag til de mange klager over temperaturen i zonen mod sydvest (jf Figur 0.7).



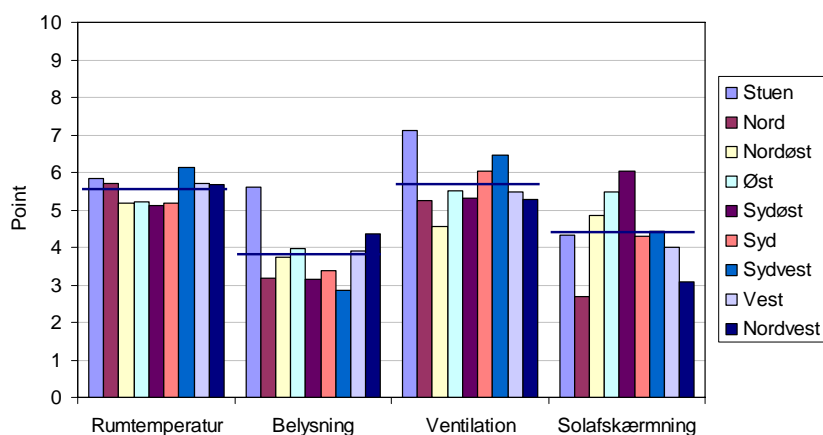
**Figur 0.13. Vurdering af personlig mulighed for at regulere og tilpasse de nævnte faktorer (0: ingen mulighed, 10: fuld mulighed)**

I de skriftlige tilkendegivelser i spørgeskemaerne er der flere der skriver, at de er utilfredse med deres muligheder for at kunne foretage reguleringer. Desuden nævnes også ofte uenighed blandt kollegerne om, hvordan reguleringen skal foretages, da det er svært at gøre alle tilfredse.

### 1.1.1.15 Dit behov for at kunne regulere

Ved vurderingen af behovet for selv at kunne regulere angiver 0 point intet behov og 10 point, at man ofte har behov for at kunne regulere. Ved dette spørgsmål er det især stueetagen der udskiller sig fra de andre, se Figur 0.14. I denne zone er behovet for at kunne regulere på belysningen samt ventilationen større end i de øvrige zoner. Dette er igen et udtryk for utilfredsheden med både belysning og ventilation i denne zone (jf tidligere afsnit om dette). I de øvrige zoner er der ikke så stort et behov for at ændre på belysningen, hvilket også stemmer overens med tilfredsheden med belysningen her.

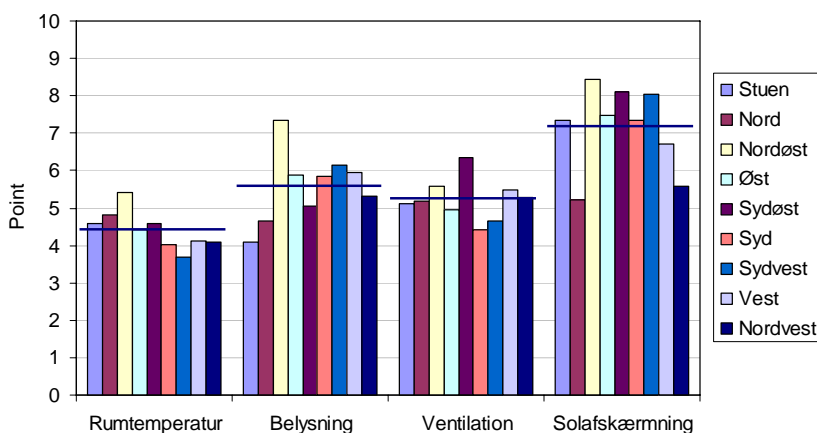
Det er hovedsageligt zonerne der rammes af den lave morgensol (NØ, Ø, SØ), som føler de har behov for at regulere på solafskærmningen.



**Figur 0.14. Vurdering af behovet for at kunne regulere de nævnte faktorer (0: aldrig, 10: ofte).**

### 1.1.1.16 Hvor hurtigt sker dine ændringer, når du regulerer

Til dette spørgsmål er der kun kommet 166 besvarelser, da en del mener, de ikke har mulighed for at regulere. Resultaterne er optegnet i Figur 0.15. Her er det angivet, at den hurtigste effekt fås ved regulering med solafskærmningen.



Figur 0.15. Vurdering af, hvor hurtigt en ændring sker, når der er ændret på de nævnte faktorer (0: meget langsomt, 10: meget hurtigt)

### Konklusion på spørgeskemaundersøgelse

Ud fra spørgeskemaundersøgelsen kan følgende konkluderes

#### 1.1.1.17 Helhedsindtryk

Overordnet set er der en positiv vurdering af indeklimaet i bygningen.

#### 1.1.1.18 Temperatur

Temperaturen i bygningen vurderes også overordnet positivt. Dog er der problemer med for høje temperaturer i den mekanisk ventilerede zone i stueetagen og varierende temperaturer i zonerne mod sydvest.

#### 1.1.1.19

#### 1.1.1.20 Luftbevægelse

Ved vurdering af luftbevægelse er der stor forskel på de naturligt ventilerede zoner og den mekanisk ventilerede zone i stueetagen. De afgivne vurderinger som helhed ligger omkring neutral (5,2 point). Vurderes de gener der nævnes findes, at op mod halvdelen af medarbejderne i de naturligt ventilerede zoner har problemer med træk. Dette er ikke noget problem i stueetagen, hvor der i stedet nævnes problemer med stillestående luft.

#### 1.1.1.21 Luftkvalitet

Den generelle opfattelse af luftkvaliteten i de naturligt ventilerede områder er god og må betragtes som meget positiv. Dog er der madlugt i bygningen fra kantinen. Dette blev også registreret under den første måleperiode i bygningen. Desuden nævnes det, at de mekanisk ventilerede områder (kontorarealer i stuen samt møderum, stillerum og rygerum) ikke bliver ventileret tilstrækkeligt.

### **1.1.1.22 Dagslys og belysning**

I forbindelse med vurdering af belysningen i bygningen er alle zoner på nær stueetagen positive på dette område. Dog nævnes det, at der er problemer med den automatiske regulering af lyset i weekender og efter fyraften, hvor lyset hurtigt slukker, når der ikke er registreret bevægelse i zonen. Dette opfattes af flere medarbejdere som generende.

### **1.1.1.23 Støjniveau**

Støjniveauet er overordnet vurderet til 5,7 point, hvilket er en negativ vurdering. Støjen kommer indefra bygningen og kilder er kollegers snak, mobiltelefoner og støj i atriet.



## Konklusion – samlet vurdering af indeklimaet

Ud fra kort- og langtidsmålingerne samt spørgeskemaundersøgelsen foretaget i kontorbygningen hos Københavns Energi kan følgende punkter trækkes frem fra de enkelte delkonklusioner i rapporten:

### 1.1.1.24 Termisk indeklima

Temperaturniveauet i bygningen ligger indenfor de vejledende komfortintervaller i DS474. Desuden er de lodrette gradienter i kontorerne små (under 1°C/m).

Under langtidsmålingerne blev der fundet følgende resultat for temperaturmålingerne:

52 timer > 26°C (gennemsnit for alle zoner)

8 timer > 27°C (gennemsnit for alle zoner)

hvilket også opfylder kravene fra DS474.

I spørgeskemaundersøgelsen vurderes temperaturen i bygningen også overordnet positivt. Dog er det blevet påpeget af godt 40% af de adspurgte i stueetagen, som er mekanisk ventileret, at der er for høje temperaturer. Dette bør kunne ændres blot ved ændring af reguleringen i denne zone. Ca. 55% af brugerne i de sydvest-vendte zoner klager over varierende temperaturer. Dette kan skyldes for dårlig brug af den manuelle solafskærmning, da det under måleperioderne er blevet noteret, at solafskærmningen sjældent benyttes. Er medarbejderne bevidste om, at der også skal bruges solafskærmning selvom solen ikke direkte rammer en person og hermed generer?

Ved måling af lokale hastigheder i de to udvalgte målezoner blev der registreret højere lokale lufthastigheder under måleperioderne i sommer- og vinterperioden end anbefalet i DS474. I sommermålingerne blev der målt op til 0,25 m/s i en almindelig driftssituation, hvilket svarer til godt 25% utilfredse. I vinterperioden blev der målt op til 0,2 m/s, hvilket svarer til ca. 20% utilfredse.

Sammenlignes der igen med spørgeskemaundersøgelsen er der også her indikeret problemer med træk. Dette er især i zonerne mod syd, sydvest og vest, hvor op mod 50% er utilfredse.

I zonerne med høj varmebelastning pr. m<sup>2</sup> kan det være svært at undgå træk, da der er en vis mængde varme, som nødvendigvis skal transporteres væk via den naturlige ventilation. Nedsættes ventilationen for at undgå træk, vil der i stedet blive for varmt i zonen. Ses der på anbefalingen i By og Byg Anvisning 202, Naturlig ventilation i erhvervsbygninger står der her, at en intern varmebelastning på mere end 30 W/m<sup>2</sup> kræver særlige overvejelser, hvis man vil benytte naturlig ventilation. I zone 39, som indeholder et call-center, er varmebelastningen vurderet til 34 W/m<sup>2</sup>. Det bør derfor overvejes, om de person-tætte zoner skal spredes over større områder for at få en mere jævn fordeling af den interne varmebelastning i bygningen.

### 1.1.1.25 Atmosfærisk indeklima

I forbindelse med vurdering af det atmosfæriske indeklima blev CO<sub>2</sub>-koncentrationen i bygningen løbende målt via langtidsmålingerne. Herfra blev det konkluderet, at det atmosfæriske indeklima i bygningen er godt og der er kun registreret få timer over 1000 ppm.

Samme resultat blev også fundet ved korttidsmålingerne både i de enkelte zoner og i hele bygningen.

I forbindelse med spørgeskemaundersøgelsen blev luftkvaliteten også vurderet positivt på nær i den mekanisk ventilerede zone i stueetagen. I forbindelse med vurderingen af ubehagelig lugt udskiller zonerne mod sydøst sig fra de øvrige ved at have ca 30% utilfredse.

Dette kan skyldes madlugt fra køkkenet, som er meget dominerende i dette område af bygningen. Dog skal det her noteres, at denne lugt var væsentligt reduceret under forårsmålingerne i bygningen, men at der stadig trækker madlugt op gennem elevatorskakten i dette område.

Ved vurderingen af den relative luftfugtighed i bygningen i vinter- og forårsmålingerne blev det konstateret, at anbefalingerne fra arbejdstilsynet i begge tilfælde er overholdt.

#### **1.1.1.26 Luftskifte**

Luftskiftet i bygningen blev både målt som en gennemsnitsværdi for hele bygningen samt lokalt i de to målezoner. I alle tilfældene var det målte luftskifte højere end det nødvendige vurderet ud fra CO<sub>2</sub>-niveauet i zonen. Det anbefales dog ikke at nedsætte luftskiftet i bygningen pga den høje interne varmebelastning, som ville medføre for høje temperaturer ved mindre luftskifter.

Et alternativ kan være at benytte natventilationen mere aktivt, og herved køle bygningen ned ved ventilation i løbet af natten. Denne nedkøling vil give en kølende effekt et stykke op ad dagen, hvilket kan give mulighed for mindre ventilation. Dette kan evt også reducere problemet med træk.

Bygningens infiltrationsluftskifte blev også vurderet i en aftenperiode, hvor alle åbninger var lukkede. Dette luftskifte er omkring 0,1 h<sup>-1</sup>, hvilket indikerer en rimelig tæt bygning.

#### **1.1.1.27 Luftfordeling**

Ved vurdering af både temperatur- og CO<sub>2</sub>-gradienter op gennem bygningen er disse fundet små, hvilket viser, at der er en god opblanding af luften i bygningen.

I spørgeskemaundersøgelse er det af flere blevet angivet, at der er røglugt udenfor rygerummene. Under måleperioderne i bygningen blev det flere gange konstateret, at dørene til rummene var åbne, hvilket bestemt ikke er hensigtsmæssigt. Disse bør holdes lukket. Problemet kan yderligere afhjælpes ved at forøge udsugningen fra rummene og hermed forøge undertrykket og mindske mængden af røg der "siver" ud fra rummet. Pga fare for at udløse brandalarmen blev der ikke foretaget røgforsøg i bygningen, og fordelingen af luft fra rygerummene er derfor ikke undersøgt visuelt med (kunstig genereret) røg.

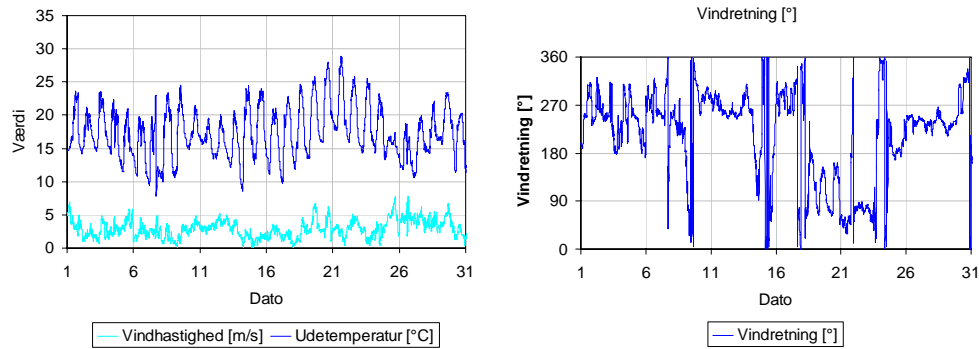
## **Bilag A: Beregningseksempel, langtidsmålinger**

For at give indtryk af hvordan databehandlingen ved langtidsmålingerne er foretaget, er resultaterne her gennemgået for august måned i zone 41.

Optegninger findes for alle de analyserede zoner i alle måneder på den medfølgende CD i mappen "log-data".

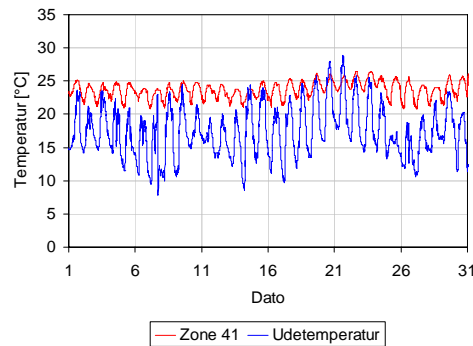
#### **1.1.1.28 Udeklimadata**

Temperatur, vindhastighed og vindretning i august måned kan ses på Figur A.1.



**Figur A.1. Temperatur, vindhastighed og vindretning i august 2005.**

For at kunne vurdere udetemperaturens påvirkning af indetemperaturen sammenholdes disse i Figur A.2. Her ses det, at indetemperaturen ligger jævnt omkring 23°C-25°C gennem hele august måned. Da udetemperaturen omkring den 19/8 bliver højere ses det, at der stadig opretholdes en rimelig temperatur indenfor pga bygningens høje termiske masse.

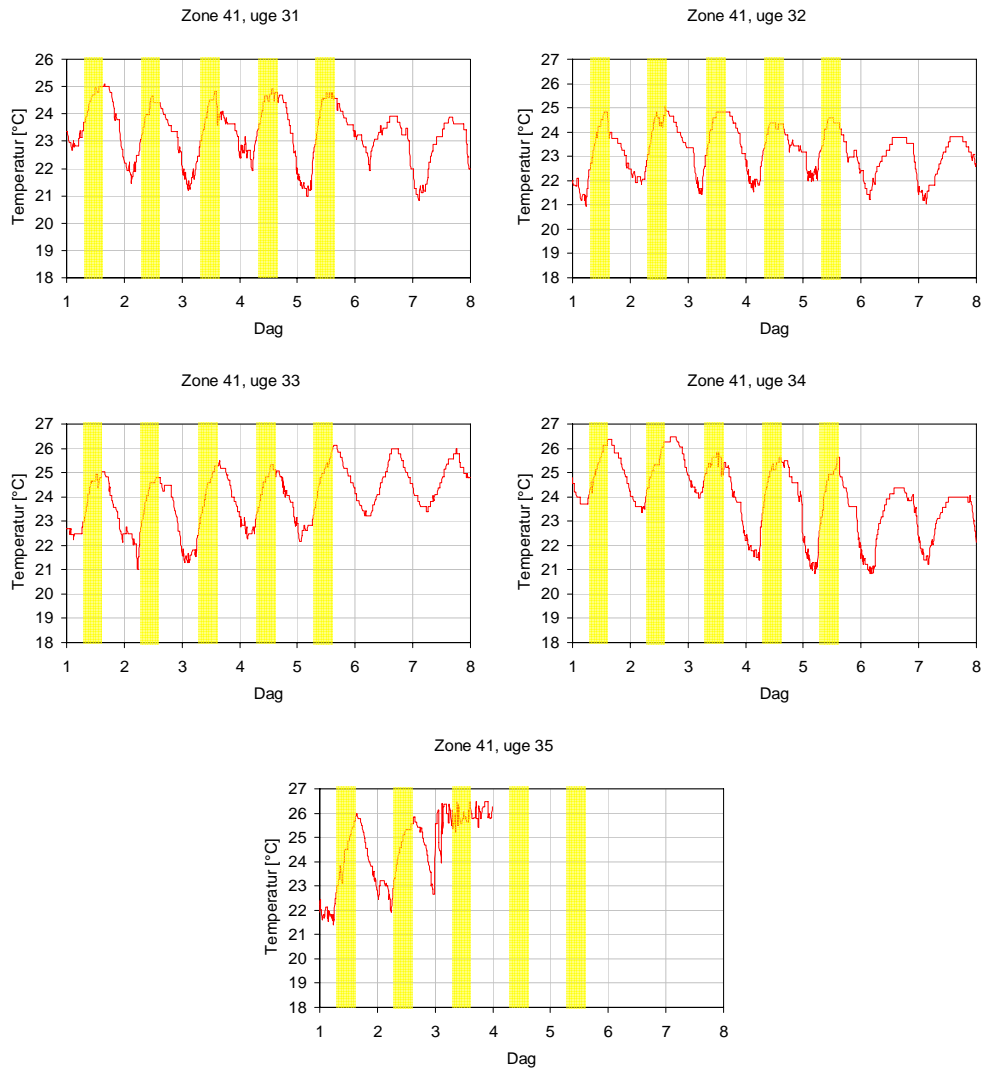


**Figur A.2. Indetemperaturen sammenholdt med udetemperaturen, august 2005**

### 1.1.1.29

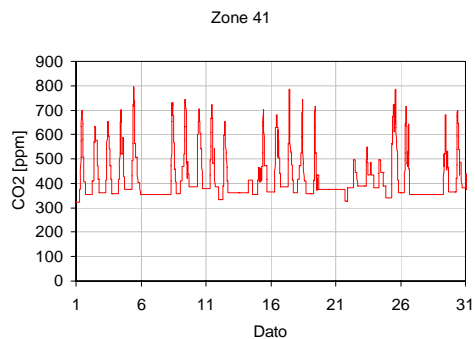
### 1.1.1.30 Indeklimadata

En mere detaljeret optegning af indetemperaturen er foretaget i Figur A.3. Her er tidsrummet mellem kl. 8 og 16 markeret med gult, og optegningen viser tydeligt hvordan temperaturen stiger når bygningen er i brug i dagstimerne.



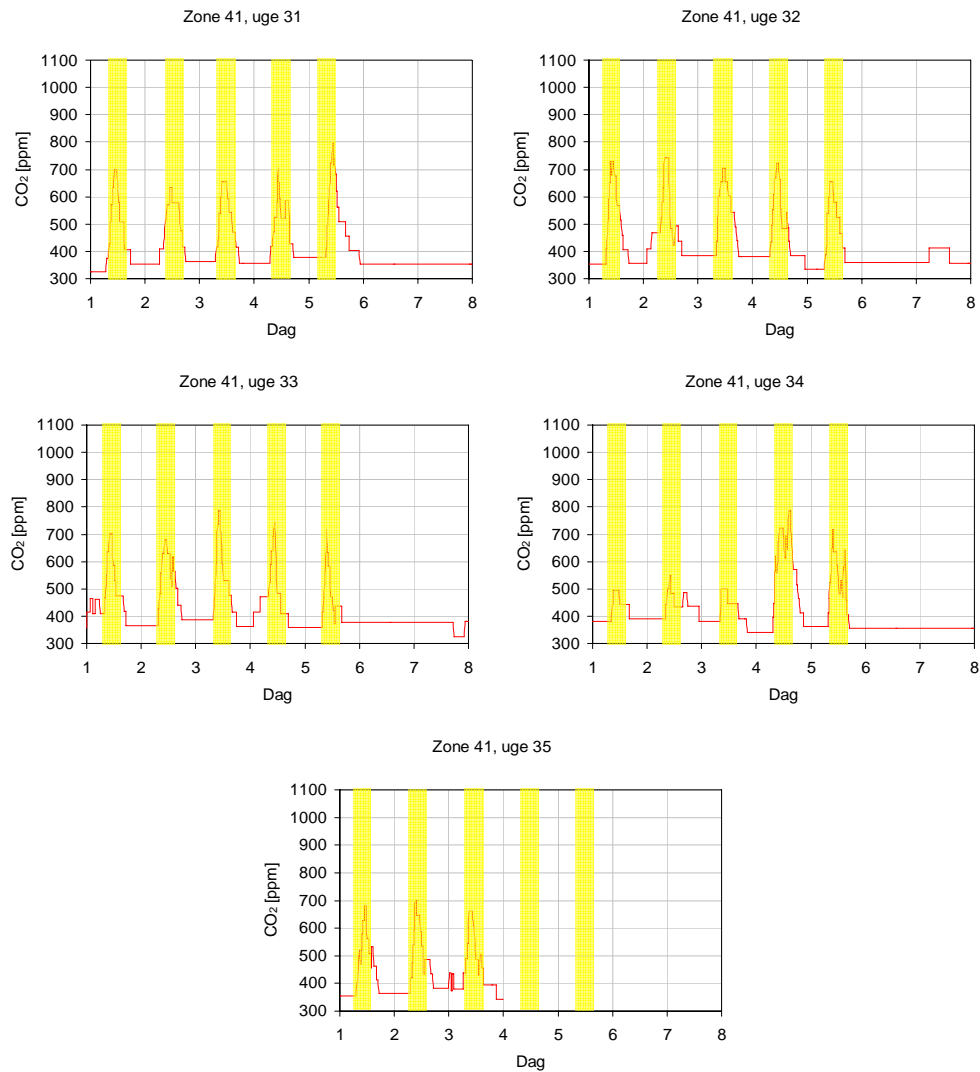
**Figur A.3. Indetemperaturen i zone 41. Tidsrummet mellem kl. 8 og 16 er markeret med gult. August 2005**

CO<sub>2</sub>-niveauet i august måned i zone 41 er optegnet i Figur A.4. Det fremgår her, at der ikke på noget tidspunkt opstår problemer med for høje niveauer.



**Figur A.4. CO<sub>2</sub>-niveauet i zone 41 i juli 2005**

Ved en mere detaljeret optegning af CO<sub>2</sub>-niveauet i bygningen (se Figur A.5) ses hvorledes CO<sub>2</sub>-niveauet stiger i løbet af dagen for efter arbejdstidens ophør atter at falde til udekonzentrationen.



Figur A.5. CO<sub>2</sub>-niveauet i zone 41 i august. Tidsrummet mellem kl. 8 og 16 er markeret med gult.

## Bilag B: Bestemmelse af bygningsvolumen

Volumenet af bygningen bruges i forbindelse med flere af beregningerne af luftskifte.

Volumenet er bestemt ud fra tegningsmaterialet. Først er grundareal bestemt og herefter er fradrag fra fx elevatorskakt, mødelokaler, trappeskakte mm og arealer med mekanisk ventilation i stueetagen beregnet.

	<i>Areal pr etage</i> <i>[m<sup>2</sup>]</i>	<i>Etagehøjde</i> <i>[m]</i>	<i>Volumen</i> <i>[m<sup>3</sup>]</i>
Stuen	343	3,35	1150
1,2,3. sal	1114,76	3,1	10367

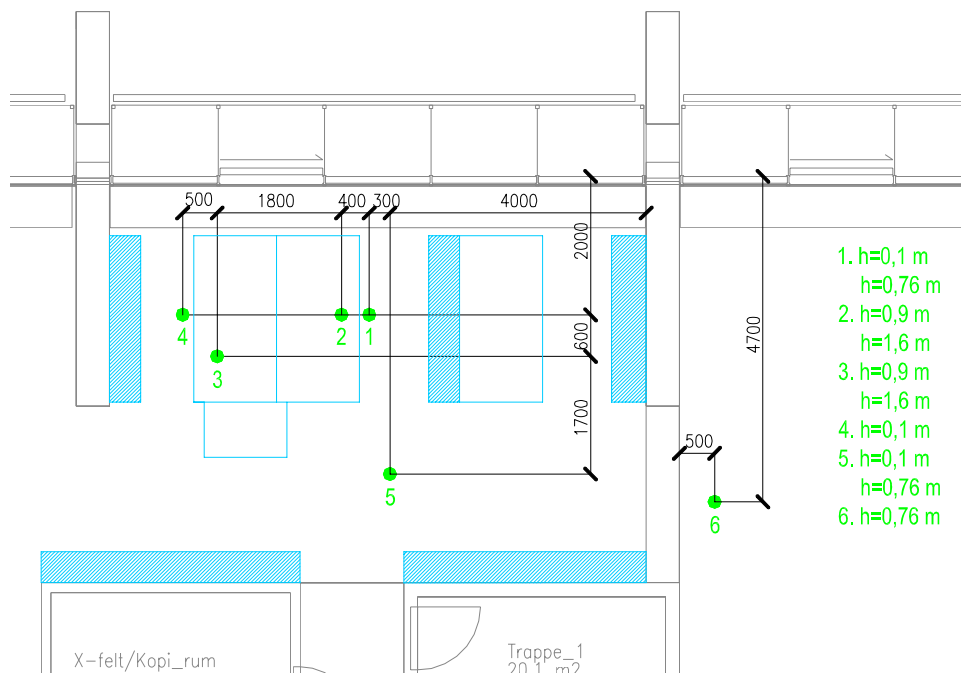
4. sal	910,66	3,1	2823
Atrium	226	3,7	4593
Total			<b>18933</b>

## Bilag C: Måling af lokale lufthastigheder (træk), sommer

### 1.1.1.31 Zone 13

Der blev foretaget en undersøgelse af lufthastigheder på og omkring to skriveborde i zone 13. Luftens bevægelser blev undersøgt med røg fra pipette. Alle lufthastigheder blev målt som middelværdier over et minut. Desuden blev der i nogle tilfælde vurderet, hvad den højeste hastighed i punktet var samt hvordan turbulensintensiteten var.

Målepunkterne er vist på nedenstående tegning af zonen.



### Måling af lufthastigheder i zone 13, tirsdag d. 23/8-05

Alle tre vinduer i zonen stod på klem under målingerne. Følgende målinger blev foretaget mellem 10.45 og 11.30:

Målepunkt	Højde over gulv [m]	Måling 1 [cm/s]	Måling 2 [cm/s]	Måling 3 [cm/s]
1	0,1	4,7	<b>4,4</b>	6,4
	0,76	12,5	6,8	
2	0,9	6,0	7,6	
	1,6	9,3	9,4	
3	0,9	6,0	6,0	
	1,6	7,7	8,9	
4	0,1	9,0	5,6	9,4
5 (gang)	0,1	14,8	<b>18,2</b>	16,3
	0,76	14,3	11,9	

6 (gang)	0,76	8,4	7,8
----------	------	-----	-----

Varmeanlægget i zonen var tændt under målingerne.

*Måling af lufthastigheder i zone 13, onsdag d. 24/8-05*

Under målingerne åbnede brugerne vinduerne helt op – vinduerne er derfor i denne måling ikke styret af styringssystemet, men af brugerne, og de høje hastigheder der er målt er derfor i det tilfælde, hvor brugerne selv åbner vinduerne op. Ventilationssystemet ville ikke åbne så meget men bliver styret af vindhastighed, retning, temperatur mm. Målinger blev foretaget fra 13.20 til 14.40.

Målepunkt	Højde over gulv [m]	Måling 1 [cm/s]	Måling 2 [cm/s]	Måling 3 [cm/s]
1	0,1	37,4	39,9	<b>42,9</b>
	0,76	18,7	27,1	23,1
2	0,9	21,0	26,2	18,7
	1,6	17,0	17,6	14,8
3	0,9	7,9	8,1	
	1,6	11,9	10,6	
4	0,1	11,6	<b>6,4</b>	8,3
5 (gang)	0,1	22,5	33,3	27,1
	0,76	19,1	12,1	19,0
6 (gang)	0,76	23,7	30,1	31,6

*Måling af lufthastigheder i zone 13, torsdag d. 25/8-05*

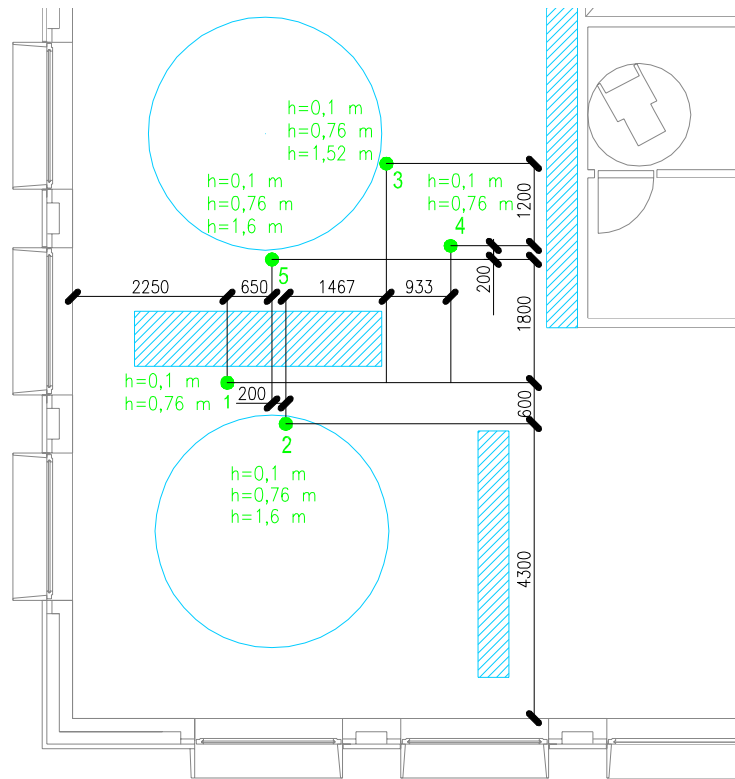
Alle tre vinduer i zonen stod på klem under målingerne (9-10% åbne). Følgende målinger af hastigheder blev foretaget torsdag eftermiddag:

Målepunkt	Højde over gulv [m]	Måling 1 [cm/s]	Måling 2 [cm/s]	Måling 3 [cm/s]
1	0,1	6,5	5,1	
	0,76	7,7	2,9	5,4
2	0,9	10,2	4,5	7,1
	1,6	5,6	2,6	
3	0,9	4,7	5,6	5,5
	1,6	5,8	<b>2,6</b>	
4	0,1	8,3	<b>11,5</b>	6,0
5 (gang)	0,1	7,9	6,1	7,4
	0,76	10,2	4,5	5,8

### 1.1.1.32 Zone 39

Der blev foretaget en undersøgelse af lufthastigheder på og omkring tre skrivebordspladser i zone 39. Luftens bevægelser blev undersøgt med røg fra pipette. Alle lufthastigheder er målt som middelværdier over et minut. Desuden blev der i nogle tilfælde vurderet, hvad den højeste hastighed i punktet var samt hvordan turbulensintensiteten var.

Målepunkterne er vist på nedenstående tegning af zonen.



*Måling af lufthastigheder i zone 39, tirsdag d. 23/8-05*

Under målingerne var alle vinduerne mod syd åbne samt det brugerstyrede vindue i hjørnet mod øst. Måledata ses i nedenstående tabel:

Målepunkt	Højde over gulv [m]	Måling 1 [cm/s]	Måling 2 [cm/s]	Måling 3 [cm/s]
1	0,76	15,9	10,9	11,6
	0,1	9,7	7,1	
	1,6	7,2	10,6	4,4
3	1,52	12,0	12,6	12,2
	0,76	13,4	11,9	9,4
4 (gang)	0,1	14,1	<b>25,1</b>	16,8
	0,1	10,2	7,2	
	0,76	13,7	12,0	
5	0,1	6,4	9,9	<b>3,5</b>
	0,76	8,9	9,7	
	1,6	5,6	5,3	

*Måling af lufthastigheder i zone 39, onsdag d. 24/8-05*

Lufthastighederne i zone 39 blev målt på samme arbejdspladser indenfor zonen som tirsdag. Under målingerne var alle vinduerne på klem. Måledata ses i nedenstående tabel:

Målepunkt	Højde over gulv	Måling 1	Måling 2	Måling 3
-----------	-----------------	----------	----------	----------



	[m]	[cm/s]	[cm/s]	[cm/s]
1	0,76	15,1	10,0	19,6
	0,1	14,4	14,8	15,4
2	1,6	5,6	8,9	8,9
	1,52	<b>5,2</b>	5,6	
3	0,76	8,9	9,7	11,9
	0,1	14,3	19,2	17,4
	0,1	17,1	<b>20,5</b>	13,4
	0,76	6,0	12,9	6,6
4 (gang)	0,1	9,8	6,0	
	0,76	15,1	10,0	19,6
	1,6	14,4	14,8	15,4

### Måling af lufthastigheder i zone 39, torsdag d. 25/8-05

Under målingerne var alle vinduerne på klem. Målinger af hastigheder ses i nedenstående tabel:

Målepunkt	Højde over gulv [m]	Måling 1 [cm/s]	Måling 2 [cm/s]	Måling 3 [cm/s]
1	0,76	7,9	4,2	6,5
	0,1	<b>17,0</b>	15,8	16,2
2	0,76	9,4	9,4	10,0
	0,1	9,8	6,0	
4 (gang)	0,76	5,2	2,4	
	0,1	6,5	5,9	
	0,76	3,7	1,1	3,5
5	0,1	6,0	5,9	<b>3,1</b>

## Bilag D: Bestemmelse af lokale luftskifter

For at vurdere ventilationen i de enkelte zoner der registreres personer i zonen i et givent tidsinterval samtidig med at CO<sub>2</sub>-niveauet måles. Beregningerne foretages ud fra metoden med konstant tilførsel af gas, som i dette tilfælde er CO<sub>2</sub>. Beregningerne foretages både som en middelværdi over hele perioden samt i mindre dele af perioden som kontrol af middelværdi-beregningen. Der bruges følgende beregningsudtryk:

$$Q_v = \frac{\dot{m}}{C_i - C_o}$$

hvor

$Q_v$ : Tilført friskluftsmængde [m<sup>3</sup>/h]

$\dot{m}$ : Tilført mængde af CO<sub>2</sub> [m<sup>3</sup>/h]

$C_i$ : Koncentration af CO<sub>2</sub> i kontoret [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]

$C_o$ : Koncentration af CO<sub>2</sub> i udeluft [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]

Som eksempel ses resultaterne af beregningerne for sommermålingerne.

<i>Zone 13</i>	<i>13:18-13:30</i>	<i>13:30-13:40</i>	<i>14:02-14:13</i>	<i>14:19-14:36</i>	<i>Middel i perioden</i>
Antal personer	3	2	1	2	1,87
Tilført CO <sub>2</sub> [m <sup>3</sup> /h]	0,06	0,04	0,02	0,04	0,04
Middelkoncentration [ppm]	520	470	470	465	484
Udekonzentration [ppm]	380	380	380	380	380
Tilført udeluft [m <sup>3</sup> /h]	429	444	222	471	360
<b>Beregnet luftskifte</b> [h <sup>-1</sup> ]	7,0	7,3	3,6	7,7	5,9

<i>Zone 39</i>	<i>9:18-9:32</i>	<i>10:06-10:19</i>	<i>10:36-10:42</i>	<i>Middel i perioden</i>
Antal personer	6	6	4	5,27
Tilført CO <sub>2</sub> [m <sup>3</sup> /h]	0,12	0,12	0,08	0,11
Middelkoncentration [ppm]	590	580	550	570
Udekonzentration [ppm]	380	380	380	380
Tilført udeluft [m <sup>3</sup> /h]	571	600	471	555
<b>Beregnet luftskifte</b> [h <sup>-1</sup> ]	5,1	5,4	4,2	5,0

### 1.1.1.33 Beregning af nødvendigt luftskifte

Til sammenligning for de beregnede luftskifter beregnes det luftskifte, som er nødvendigt for at opretholde et CO<sub>2</sub>-niveau på 1000 ppm.

Dette beregnes ud fra ovenstående udtryk for følgende to situationer i sommermålingerne:

Zone 16, 2 personer: Minimalt luftskifte = 1,1 h<sup>-1</sup>

Zone 39, 6 personer: Minimalt luftskifte = 1,7 h<sup>-1</sup>

## Bilag E: Bestemmelse af gennemsnitsluftskifte i bygningen

For at vurdere middelluftskiftet i bygningen optælles antal af personer, der befinder sig i bygningen i måleperioden.

Som eksempel gennemgås målingerne foretaget i sommerperioden. Måleperioden var her afgrænset til perioden fra kl. 10.00 til kl. 15.00, hvor vi antog at bygningen var i fuld drift. Antallet af personer blev løbende talt i måleperioden.

Målingerne blev gennemført tirsdag d. 23/8. Følgende tællinger af personer blev foretaget:

<i>Tid</i>	<i>Stuen</i>	<i>1. sal</i>	<i>2. sal</i>	<i>3. sal</i>	<i>4. sal</i>	<i>Total</i>
10.05	8	73	76	108	72	337
11.00	6	82	81	93	70	332
11.50	16	69	71	65	60	281
12.45	10	73	72	73	43	271
14.45	6	70	88	112	61	337

For at vurdere CO<sub>2</sub>-niveauet i bygningen bruges en gennemsnitsværdi af de målinger der blev foretaget med KE's interne følere i perioden. Beregningen foretages med metoden til brug ved konstant tilførsel af gas (beskrevet i "Bilag D: Bestemmelse af lokale luftskifter"). Der medtages et passende interval på hver side af det angivne tidspunkt. Fx er intervallet for kl. 11.00 angivet som kl. 10.30-11.20. Data fra beregningerne er angivet i nedenstående tabel, hvor det fremgår, at middelluftskiftet for bygningen er beregnet til 3,2 h<sup>-1</sup>.

<i>Tid</i>	<i>Personer</i>	<i>CO<sub>2</sub>-niveau [ppm]</i>	<i>Tilført CO<sub>2</sub> [m<sup>3</sup>/h]</i>	<i>Tilført udeluft [m<sup>3</sup>/h]</i>	<i>Beregnet luftskifte [h<sup>-1</sup>]</i>
10.05	337	496	6,74	58054	3,07
11.00	332	526	6,64	45577	2,41
11.50	281	497	5,62	48008	2,54
12.45	271	469	5,42	61139	3,23
14.45	337	455	6,74	89681	4,74
Middel i hele perioden	311,6	455	6,23	60308	<b>3,19</b>

### 1.1.1.34 Beregning af nødvendigt luftskifte

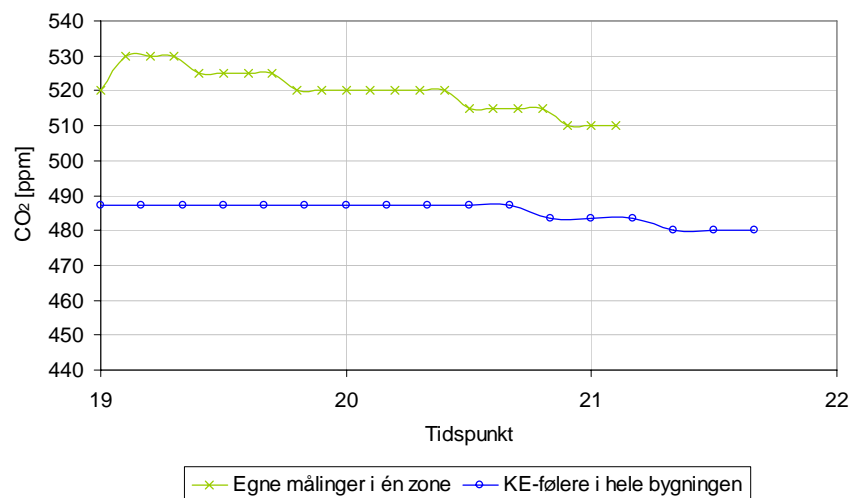
Til sammenligning for det beregnede middel luftskifte i hele bygningen beregnes det luftskifte, som er nødvendigt for at opretholde et CO<sub>2</sub>-niveau på 1000 ppm.

Dette beregnes i sommerperioden for 312 personer i bygningen til at være 0,53 h<sup>-1</sup>.

## Bilag F: Bestemmelse af infiltrationsluftskifte

Infiltrationsluftskiftet bestemmes ud fra en afklingskurve optegnet for CO<sub>2</sub>-koncentrationen i den tomme bygning. Målingerne foretages både med AAU-målere samt via en middelværdi af samtlige KE-målere i bygningen.

Målingerne af CO<sub>2</sub> er vist på nedenstående graf.



Infiltrationsluftskiftet kan beregnes ud fra følgende udtryk for afklingsforsøg:

$$Q_v = V \frac{\ln \frac{C_i(t_1) - C_0}{C_i(t_2) - C_0}}{(t_2 - t_1)}$$

hvor

- $Q_v$ : Tilført friskluftsmængde [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]  
 $V$ : Volumen af bygningen [ $\text{m}^3$ ]  
 $C_i$ : Koncentration af  $\text{CO}_2$  i kontoret [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]  
 $C_0$ : Koncentration af  $\text{CO}_2$  i udeluft [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]  
 $t$ : Tid [h]

Ud fra beregningerne findes frem til et infiltrationsluftskifte på omkring  $0,03\text{-}0,06 \text{ h}^{-1}$  i sommerperioden, hvorfra grafen er optegnet.

## Bilag G: Spørgeskemaundersøgelse



## **Appendiks 8:**

### **"TAC News" om besparelspotentiale**

Til TAC kunder i Danmark

# TAC News

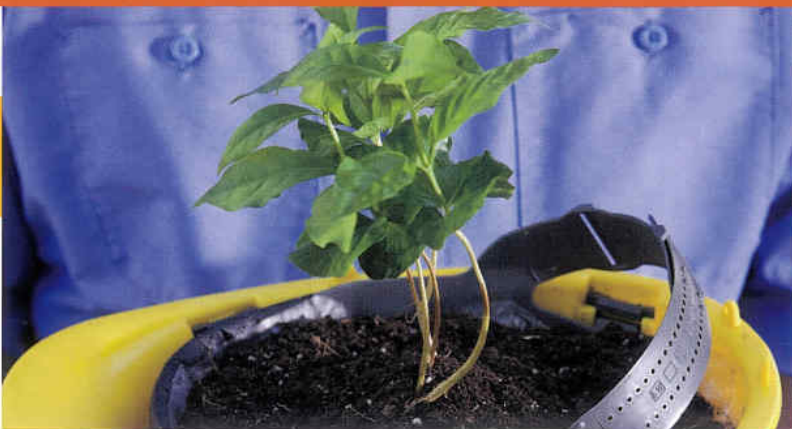
Nr. 2 • Juni 2009



**Energioptimering** af bygninger  
betaler sig

## Indhold

- Energioptimering af bygninger betaler sig
- Nye projekter
- Byggeriet stiller grønne krav til regeringen
- Skal du på sommerferie? Så lad TAC passe din bygning imens!



"Energioptimering af bygninger kan medføre energibesparelser på mellem 5 og 15 % – ofte med en tilbagebetalingstid på under to år," siger adm. direktør Jeppe Rasmussen, TAC A/S.

### Lille investering med stor effekt

Det kan betale sig at overveje nogle af de økonomisk set overkommelige investeringer, som gør bygninger mere energieffektive. Og når renteniveauet samtidig er historisk lavt, kan energioptimering af bygninger være en særdeles fornuftig investering, hvor udgiften er tilbagebetalt på kort tid.

## Energioptimering af bygninger betaler sig

Når økonomien strammer til, og fremtidsudsigterne virker usikre, vil mange holde igen med nye investeringer. Der kan imidlertid være sund fornuft i, at investere i et lavere forbrug af energi. Ud over at spare på forbruget og dermed udgifterne, kan disse energimæssige tiltag nemlig også spare miljøet i form af reduceret CO<sub>2</sub> udslip. Desuden kan virksomhedens effektivitet forbedres – dette bl.a. ved at finjustere indeklimaet, så de ansatte yder deres bedste.

### ENERGIBESPARELSER PÅ MELLEM 5 OG 15 %

"Energioptimering af bygninger vil i mange tilfælde resultere i energibesparelser på mellem 5 og 15 % – og ofte med en tilbagebetalingstid på mindre end to år," siger adm. direktør Jeppe Rasmussen, TAC A/S.

"Naturligvis er der forskel på behovet fra bygning til bygning. Når vi energioptimerer en bygning, går vi efter de tiltag, hvor investeringen hurtigt giver et positivt resultat på bundlinjen. Erfaringen viser, at flere former for eksisterende bygningsautomatik kan opdateres med betydelig effekt.

Den økonomiske krise har medført et historisk lavt renteniveau. Så selv om mange lige nu er tilbageholdende med nye investeringer, kan det faktisk betale sig at investere i et lavere energiforbrug," forklarer Jeppe Rasmussen.

### RIGTIG TEMPERATUR GIVER OPTIMAL EFFEKTIVITET

Hvis optimeringen af en kontorbygning også omfatter bygningens indeklima, opnår man ikke alene besparelser på udgiftsbudgettet, men også en økonomisk gevinst ved, at de ansatte arbejder mere effektivt. Flere rapporter<sup>1</sup> konkluderer, at en indendørs temperatur på 22-25 grader er optimal. For hver grad lavere eller højere reduceres effektiviteten med 4 %. Når indeklimaet forbedres gavner det også virksomheden i form af et lavere sygefravær.

Effektivt fungerende ventilation medvirker således til både at sikre et optimalt arbejdsmiljø og et lavt energiforbrug. Hvis der f.eks. er tale om et rum, hvor antallet af personer varierer over tid, kan det være en fordel at installere CO<sub>2</sub>-styret ventilation. Registreres få personer i lokalet, nedsættes luftskiftet – registreres mange personer, øges det.

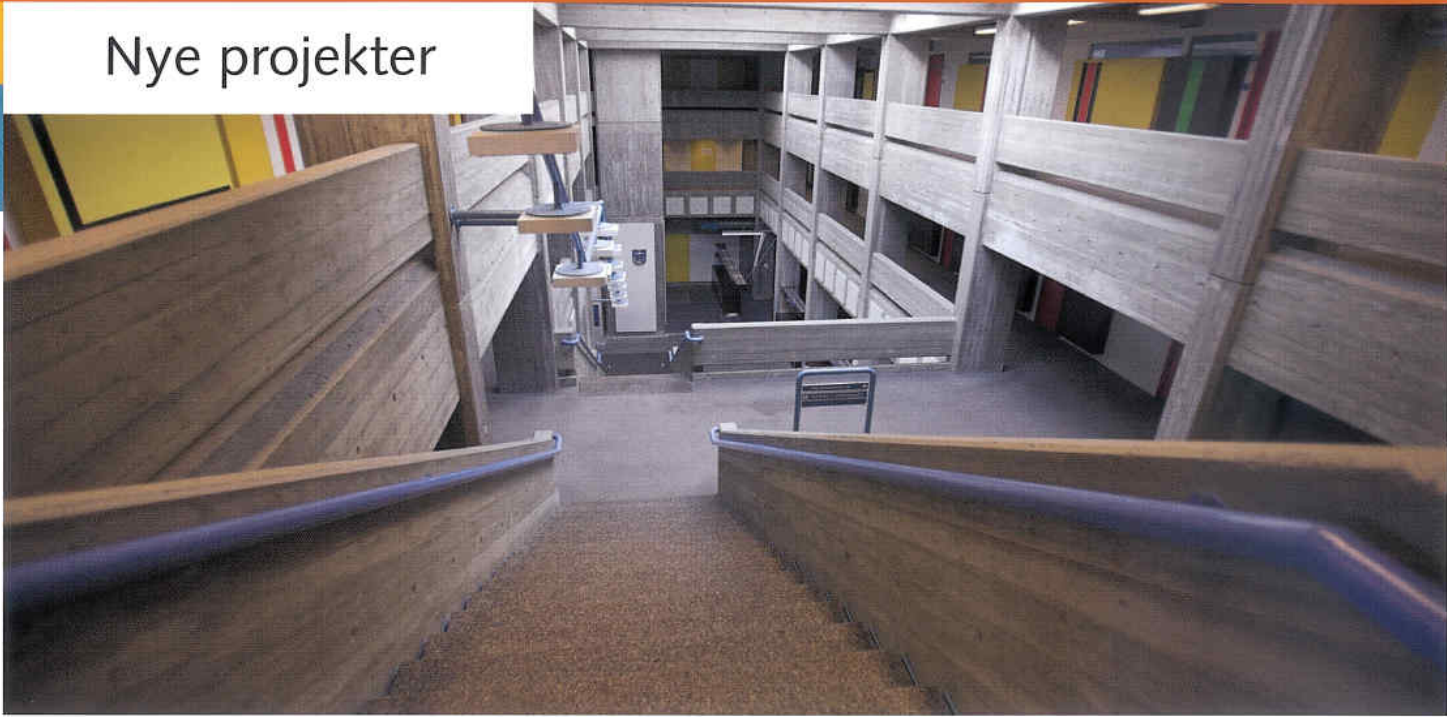
### ERFARING TÆLLER

TAC har mange års erfaring i at energioptimere bygninger. Gode resultater er bl.a. opnået ved hjælp af værktøjet TAC Vista, som i én softwarepakke sikrer fuld integration af indeklimastyring samt anlægs- og energistyring. Systemet gør det let at kontrollere og analysere alle bygningens funktioner samt gør operatørerne i stand til at overvåge og styre hele systemet enten på stedet eller via fjernopkobling.

<sup>1</sup> The Cost-Effectiveness of Commercial-Buildings Commissioning (E. Mills, 2004). Control of Temperature for Health and Productivity in Offices (O. Seppanen, W.J. Fisk & D. Faulkner, 2004).



# Nye projekter



Frederikshavn Rådhus, fotograf: Tom Jensen

## FREDERIKSHAVN RÅDHUS, GENNEMGRIBENDE RENOVERING

Frederikshavn Rådhus på 12.000 kvm gennemgår i øjeblikket en gennemgribende renovering. Kun ydermure, de bærende konstruktioner og de store indvendige trappepartier får lov at blive stående. Huset bliver nu indrettet som et åbent kontorlandskab med masser af lysindfald. TAC skal levere integreret bygningsautomatik og sikring, herunder adgangskontrol, tyverialarm og videoovervågning. I projektet indgår også solfangere, som dels skal køle og dels bruges til opvarmning. Selve styringen af prioriteringen af solfangerne varetager TAC.

## KIRKEBAKKESKOLEN GØR NOGET VED INDEKLIMAET

Kirkebakkeskolen, der er beliggende i Bredballe ved Vejle, gennemgår en renovering til fordel for lærere og ca. 700 elever. Renoveringen af skolen omfatter nybygning af aula samt renovering af alle klasselokaler. Der installeres nye ventilationsanlæg med LON og de eksisterende varmeanlæg ombygges med ny automatik. Der foretages energiregistrering af varmemålere og elmålere i TAC Energy Management system. Anlæggene betjenes fra Vejle kommune via fælles Vista Web server.



Kirkebakkeskolen gør noget ved indeklimaet

## GREEN LIGHTHOUSE

Green Lighthouse er Københavns Universitets klimavenlige hus, som skal opføres og stå færdigt til næste sommer. Visionen er at bygge et bæredygtigt hus, der bruger mindst muligt energi til opvarmning og ventilation, og som selv producerer strøm til f.eks. belysning. Der anvendes solceller, solfangere, naturlig ventilation og afskærmning fra solen for at undgå kølebehov. TAC skal levere bygningsautomatik der styrer distribution af varme- og køl, således at f.eks. overskydende energi fra solfangere deponeres i jorden og anvendes på en kølig dag.

## COBIS FORSKERPARK, KØBENHAVN

Copenhagen Bio Science Park, COBIS, bliver Københavns første rendyrkede biotekforskerpark. COBIS skal først og fremmest være et vækstmiljø for mindre biotekvirksomheder med 5-25 medarbejdere, som – ud over kontorer og laboratorier – får adgang til en lang række fælles faciliteter. TAC leverer CTS tyverialarmering og adgangskontrol med delvis integreret fælles brugerflade.

## ARLA FOODS, NYT DOMICIL I ÅRHUS

En af verdens største mejerivirksomheder, Arla Foods, skal have nyt domicil i Århus. Byggeriet bliver i moderne arkitektur med kobberbeklædt facade og ca. 20.000 kvadratmeter i fem etager. TAC skal levere en integreret CTS og sikringsløsning med fælles brugerflade til flere Arla adresser, herunder adgangskontrol, brand- og tyverialarmering. Adgangskortet vil bl.a. blive anvendt som id-kort og til kantinebetaling.

## DYBBØL-SKOLEN I SØNDERBORG

TAC skal levere CTS til ny skolefløj efter at den gamle fløj brændte fuldstændigt ned i 2007. I den forbindelse opgraderes også de eksisterende CTS anlæg, således at hele anlægget kan betjenes fra Sønderborg Rådhus via fælles Vista Web Server. Den nye fløj bygges som et energineutralt hus, baseret på jordvarme og solceller.



Dybbøl-skolen i Sønderborg, det første spadestik



### Byggeriet, heriblandt TAC, stiller grønne krav til regeringen, men tager også selv arbejdshandskerne på

"Partnerskabet for lavere energiforbrug i bygninger", som TAC er en del af, afleverede den 20. marts 2009 deres anbefalinger til reduktion af energiforbruget i bygninger. Anbefalingerne blev afleveret til økonomi- og erhvervsminister Lene Espersen.

Danmark skal have verdens strammeste energikrav, staten skal afsætte midler til at fremme innovation og energiforbruget i de eksisterende bygninger skal reduceres markant. Det er hovedbudskaberne i anbefalinger fra ledende aktører i bygge- og energibranchen til regeringen. Du kan læse mere om "partnerskab for lavere energiforbrug i bygninger" og finde link til initiativkataloget på [www.tac.com/dk](http://www.tac.com/dk)



Lene Espersen,  
Økonomi- og erhvervsminister

### Skal du på sommerferie? Så lad TAC passe din bygning imens!

TAC tilbyder driftsansvar, hvor du trygt kan overlade hele eller dele af driftsansvaret for de bygningstekniske anlæg i din ejendom til TAC. Du vælger selv, hvor meget af ansvaret du vil uddelegere. I tæt samarbejde sammensætter vi en aftale tilpasset dine behov, med udgangspunkt i nedenstående Services:



#### Vicevært for tekniske anlæg

TAC besvarer telefonopkald fra brugere/lejere indenfor normal arbejdstid og afhjælper de situationer, der måtte opstå – f.eks. at ændre på rum/indblæsningstemperaturer eller driftstider. TAC reagerer for at udbedre fejl. Skønnes det nødvendigt med teknisk bistand på adressen, rekvirerer TAC anden nødvendig bistand, f.eks. en af TACs egne teknikere.

#### Vikariat

TAC træder til efter nærmere aftale, hvis bygningens daglige driftsansvarlige er syg, på kursus eller f.eks. holder sommerferie.

#### Alarmhåndtering

Overlad trygt dine alarmer til TAC. Ved højeste prioritetsalarmer tilstræber TAC at kalde anlægget op inden for 1 time og reagerer efter aftale for at udbedre fejl. TAC supportcenter er inden for normal arbejdstid klar til, at modtage øvrige alarmer såsom filter, drifts- og temperaturalarmer. Ved fejl på anlæg får du besked herom og vi udbedrer kun fejl efter forudgående aftale.

#### eRundering

Ved eRundering kontrollerer vi hvert enkelt anlægsbillede. Kontrollen omfatter bl.a. tjek af ønskede parameter stemmer overens med aktuelle værdier, samt at alle driftmæssige tilstande er korrekte.

#### Driftsoptimering

TAC foretager løbende energioptimering af driften, såsom finjustering af reguleringsparametre, alarmgrænser og driftstider. Dette sikrer en god komfort, besparelse af energi samt en stabil funktion og drift. TAC analyserer gentagne alarmer og vedligeholder relevante alarmkriterier, såsom tidsforsinkelser, prioriteter og afgrænsninger.

#### Energi Hotel

TAC overvåger energiforbruget og rådgiver i god tid, hvis budgettet ikke overholdes.

Kontakt din TAC kontaktperson eller Servicechef Flemming Lyngsført på tlf. 88 20 40 60, hvis du ønsker en uforpligtende snak om TAC services, og hvordan vi kan være behjælpelige med at løse dine behov.

#### Om TAC

TAC's mission er at skabe merværdi for ejere og brugere af bygninger inden for områderne indeklima, sikring og energiforbrug via åbne integrerede IT-systemer. TAC har mere end 80 års erfaring med bygningsautomatik og sikring. På verdensplan beskæftiger TAC mere end 7500 medarbejdere og har partnere og afdelinger i 80 lande. Moderselskabet Schneider Electric, er verdens førende specialist inden for el, styring og automation. Schneider Electric opererer i 130 lande og beskæftiger globalt 113.000 medarbejdere. I Danmark har TAC 275 ansatte i hhv. Herlev, Odense og Århus.

#### TAC News nr. 2. Juni 2009

TAC A/S  
Hørkær 12B  
2730 Herlev  
[info.danmark@tac.com](mailto:info.danmark@tac.com)

#### Redaktør

Susanne Nordvig  
[susanne.nordvig@tac.com](mailto:susanne.nordvig@tac.com)  
88 20 40 60

[www.tac.com/dk](http://www.tac.com/dk)

**t.a.c.**  
by Schneider Electric

## **Appendiks 9:**

### **Egetforbrug for automatikløsninger**

## Overslagsberegning af egetforbrug for bygningsautomation i en "maks.-zone "

Komponent	spænding	ampere	Omregning W	Hvilestilling W	Drift W
Xenta 103-A (TAC)	24VAC	4VA	4,21		
Xenta 110-D 230 (TAC)	230VAC	5VA	5,26		
Xenta 281 (TAC)	24VAC	Max. 5W	5		
Termoaktuator MZ09T NC (TAC)	24VAC	2W	2		
Termoaktuator TWA NC (DANFOSS)	24VAC	Max. 2W	2		
Rumføler STR100 (TAC)	0	0	0		
Rumføler STR102 m. forskyder(TAC)	0	0	0		
Rumføler/CO2 føler SCR100 (TAC)	24VAC	< 1W	1	1	5
Spjældmotor TMC24A-SR (Belimo)	24VAC	1,5W ved drift		0,4	1,5
Pir-sensor 41-262 (SERVODAN)	24VDC	< 5mA		0,072	0,12
Pir-sensor m. ultralyd 43-205 (SERVODAN)	24VDC	Max. 33mA			0,79
Lux-sensor 43-197 (SERVODAN)	24VDC	?			0,12
Pir-sensor m. Lux-sensor LRI 8134 (Philips )	24VDC	10mA			0,24
Solafskærmning (persienne), VELUX				2	40

### Energiforbrug pr. zone 40 m<sup>2</sup> 4-5 personer

Komponent	Drift		Hvilestilling (standby)		Energiforbrug pr komponent kWh/år	Antal	Energiforbrug pr zone kWh/år
	W	timer/år	W	timer/år			
Zone controller (IBI box)	5	8760	0	0	44	1	44
Ventilationsspjæld	1,5	30	0,4	8730	4	4	14
Solafskærmning (persienne)	40	6	2	8754	18	5	89
Radiatorventil	2	8760		0	18	5	88
Bevægelsessensor (PIR)	0,79	8760		0	7	1	7
Lyssensor	0,12	8760	0	0	1	1	1
CO2 føler	1	8760	0	0	9	1	9
Temperaturføler	0	8760	0	0	0	1	0
Individuel regulering lys (tænd/sluk)				8760	0		0
Individuel regulering solafskærmning (op/ned)				8760	0		0
Individuel regulering temperatur (op/ned)				8760	0		0
Belysningsarmatur				8760	0		0
<b>TOTAL</b>						kWh/år	<b>251</b>
						kWh/m <sup>2</sup> /år	<b>6,3</b>