



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Analyse af forventet energiforbrug og indeklima via et ALFA og BETA koncept - Københavns Energi som Case

PSO-projekt, Energirigtig bygningsautomation. Fase 1 - forundersøgelse

Tøgersen, Michael; Brohus, Henrik; Jensen, Rasmus Lund

Publication date:
2009

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Tøgersen, M., Brohus, H., & Jensen, R. L. (2009). *Analyse af forventet energiforbrug og indeklima via et ALFA og BETA koncept - Københavns Energi som Case: PSO-projekt, Energirigtig bygningsautomation. Fase 1 - forundersøgelse*. Department of Civil Engineering, Aalborg University. DCE Technical reports Nr. 60

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

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**



Aalborg University
Department of Civil Engineering
Indoor Environmental Engineering

DCE Technical Report No. 60

Analyse af forventet energiforbrug og indeklima via et ALFA og BETA koncept - Københavns Energi som Case

PSO-projekt, Energirigtig bygningsautomation. Fase 1 - forundersøgelse

by

Michael Tøgersen
Henrik Brohus
Rasmus Lund Jensen

December 2009

© 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 2009 by
Aalborg University
Department of Civil Engineering
Sohngaardsholmsvej 57,
DK-9000 Aalborg, Denmark

Printed in Aalborg at Aalborg University

ISSN 1901-726X
DCE Technical Report No. 60

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. temperaturlid	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 forventningsklassen¹, 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/m² på energiforbruget².

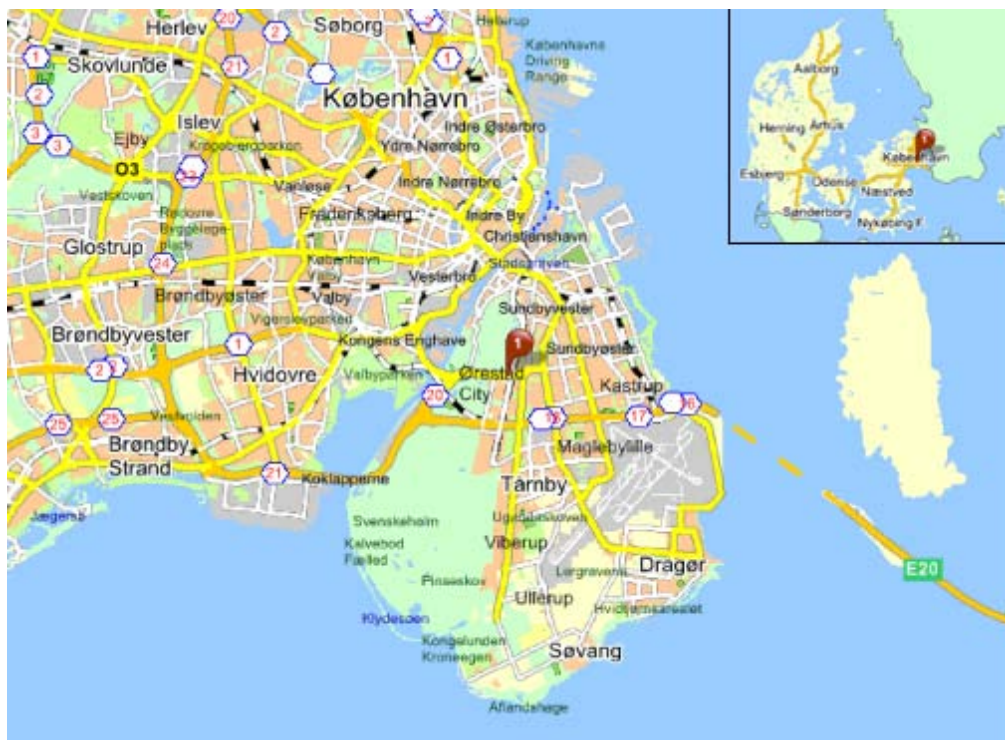
2 Beskrivelse af Københavns Energis domicil

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.

¹ Svarende til brugernes forventninger til indeklimaet jf. CR 1752

² Jævnfør PSO projektoplæg: Energirigtig bygningsautomation – Fase 1

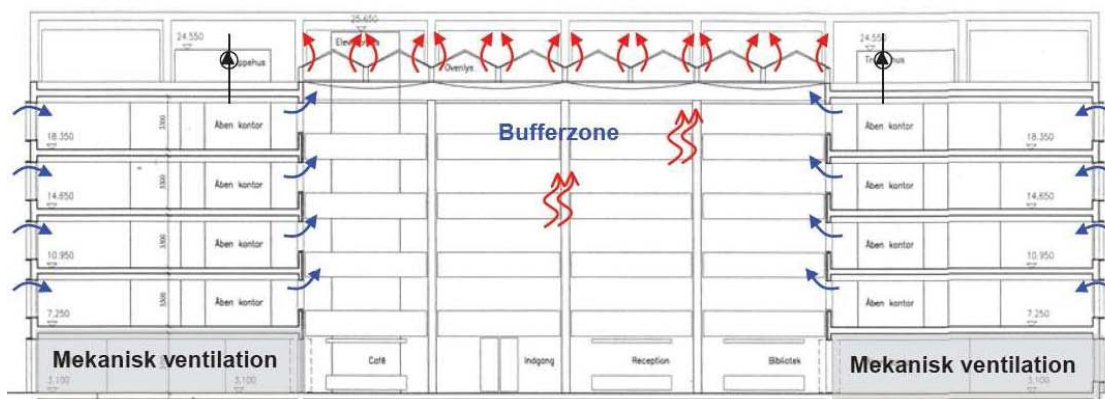


Figur 2-1: Lokalisering af Københavns Energis domicil i forhold til Danmark og Sjælland.



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: Ventilationsprincippet 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 beskeden 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 højsiddende 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 Styling 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 blandesøjfer (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 $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ jævnt for [DS 418, 2002]. Den samlede isolans svarer til en U -værdi på $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Etageskillemurene 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 etageskillemur.

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

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

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/m²	1,2

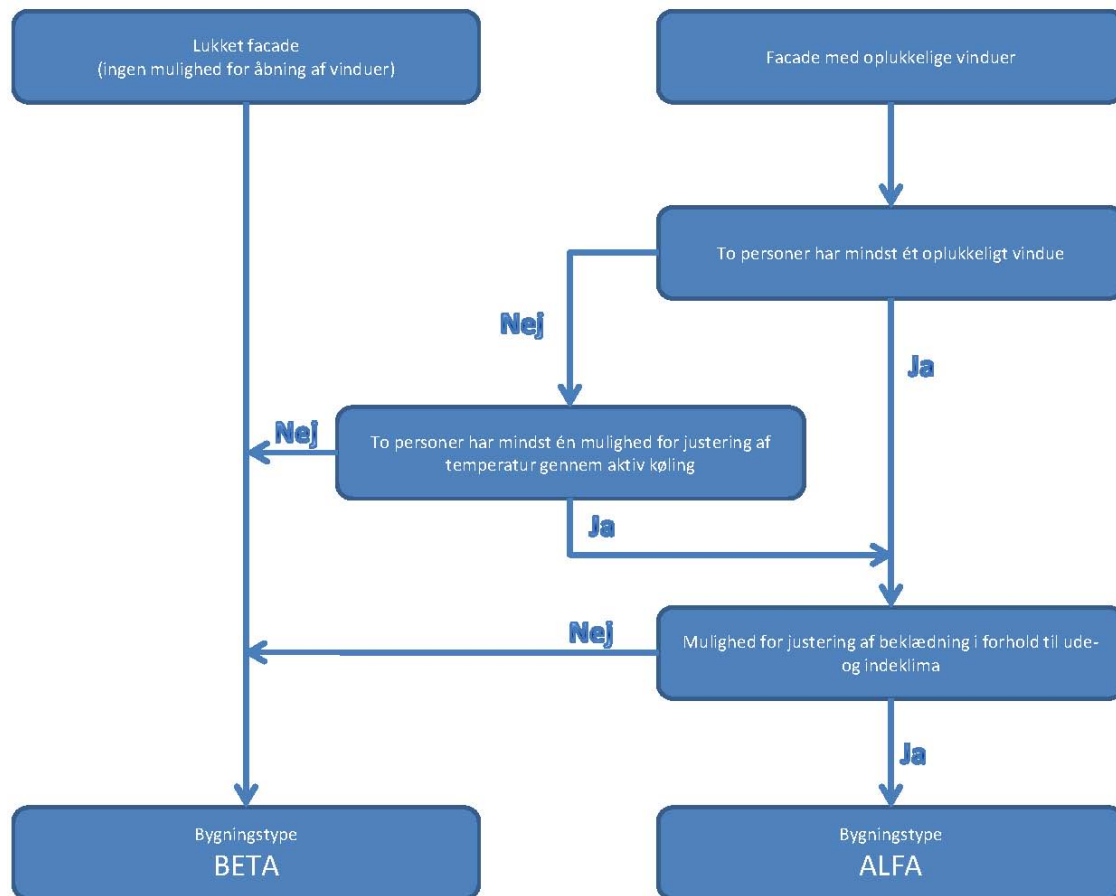
Tabel 2-3: Egenskaber for Cool-lite SKN 172 [Scanglas A/S, 2008]. Angivelsen EN410 indikerer, at glassets egenskaber fra producenten er bestemt i overensstemmelse med DS/EN 410. Forkortelserne LR og LT dækker henholdsvis over reflekteret lys og transmitteret synligt lys. For absorption svarer A1 og A2 henholdsvis til det yderste og inderste lag glas. Vinduets samlede U-værdi inkl. ramme anslås til 1,32 W/m²K.

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 naturlig ventileret og med mulighed for vinduesåbning, kategoriseres den som en ALFA-bygning.

4 Komfortgrænser til indeklimaanalyse

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

4.1 Termisk indeklima

Det termiske indeklima 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 CO₂ koncentrationen i indeluften. Ud fra kravene i [CR 1752, 1998] er følgende designkriterier for det atmosfæriske indeklima opstillet i Tabel 4-2.

	CO ₂ [ppm]
Klasse A	460
Klasse B	660
Klasse C	1190

Tabel 4-2: CO₂ koncentrationen i indeluften over udendørsniveau [CR 1752, 1998].

Værdierne for CO₂ koncentrationen i Tabel 4-2 er det tilladelige niveau over udendørsniveau. Det forudsættes, at luften indeholder 350 ppm CO₂ samt der ses bort fra arbejdstilsynets vejledning om ikke at overskride et CO₂ 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 ₂ belastning			
	[h ⁻¹]	[m ³ /s]	[l/s person]	[l/s m ²]
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 CO₂ 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 CO₂ per time [Steen-Thøde et al., 2001]. Det senere betragtede kontorudsnit, markeret på Figur 6-1, måler 495,3 m² eksklusiv de to møde- og stillerum (der udgør henholdsvis 34,2 m² og 21,6 m²), hvilket giver en gennemsnitlig personbelastning på 0,07 personer/m².

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 frilagte. 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 [m²]

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 ²]	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 møblementet. Dette skyldes, at det ikke er muligt at tage direkte hensyn til dette under simuleringen i BSim. Derfor er vinduernes og møblementets 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 varmemeforbruget 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
<i>g</i> -værdi (Solfaktor)	0,61	0,40	0,33
<i>U</i> -værdi [W/m ²]	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 snavsede.

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/m², hvorimod den vejledende værdi for varmeafgivelsen fra elektrisk udstyr pr. opvarmet etageareal jævnfør [Aggerholm et al., 2007] kan sættes til 6 W/m² - altså en forskel på 25 %. Det vælges at benytte den vejledende værdi fra [Aggerholm et al., 2007] på 6 W/m² for de efterfølgende simuleringer, hvormed det samlede interne varmetilskud fra elektrisk udstyr bliver 3306 W.

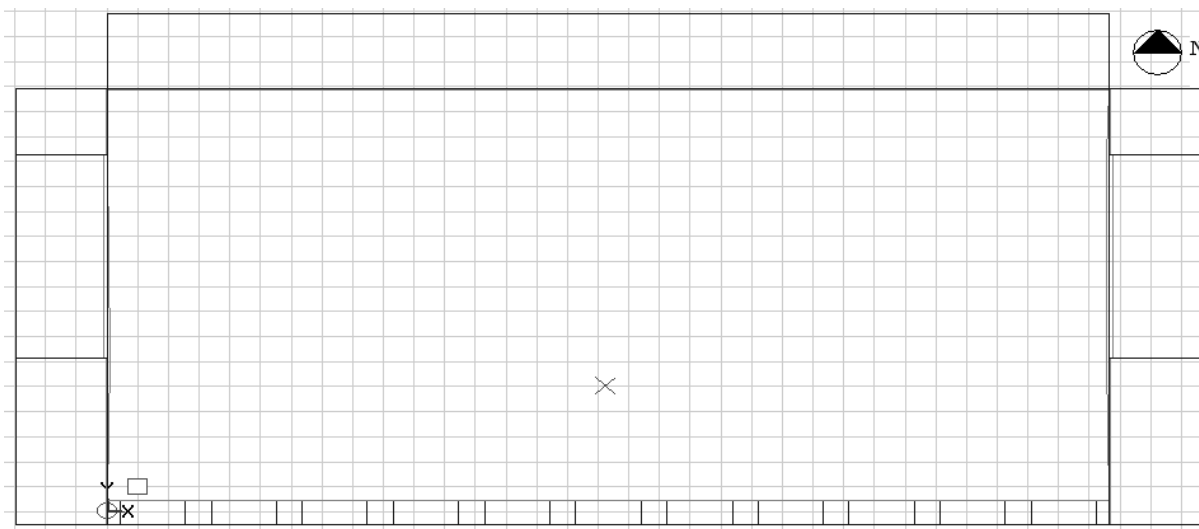
5.1.4 Belysning

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 særlys er altid tændt i brugstiden uafhængigt af lysstyringen.

For henholdsvis ingen, moderat og betydelig lysregulering anvendes der en varmeafgivelse på 15 W/m², 10 W/m² og 7,5 W/m². 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 W/m^2 , 10 W/m^2 og $7,5 \text{ W/m}^2$, anvendt i normal arbejdstid. Ligeledes er belysning også aktiv lørdage med samme vægtning, 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 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 %
AA03			- 25 %
AA04		Solafskærmning	Ingen
AA05			Betydelig
AA06		Intern belastning	+ 25 %
AA07			- 25 %
AA08		Lysregulering	Ingen
AA09			Betydelig
AB01	ALFA Klasse B	Standard	Standard
AB02		Bygningsmasse	+ 25 %
AB03			- 25 %
AB04		Solafskærmning	Ingen
AB05			Betydelig
AB06		Intern belastning	+ 25 %
AB07			- 25 %
AB08		Lysregulering	Ingen
AB09			Betydelig
AC01	ALFA Klasse C	Standard	Standard
AC02		Bygningsmasse	+ 25 %
AC03			- 25 %
AC04		Solafskærmning	Ingen
AC05			Betydelig
AC06		Intern belastning	+ 25 %
AC07			- 25 %
AC08		Lysregulering	Ingen
AC09			Betydelig
BA01	BETA Klasse A	Standard	Standard
BA02		Bygningsmasse	+ 25 %
BA03			- 25 %
BA04		Solafskærmning	Ingen
BA05			Betydelig
BA06		Intern belastning	+ 25 %
BA07			- 25 %
BA08		Lysregulering	Ingen
BA09			Betydelig
BB01	BETA Klasse B	Standard	Standard
BB02		Bygningsmasse	+ 25 %
BB03			- 25 %
BB04		Solafskærmning	Ingen
BB05			Betydelig
BB06		Intern belastning	+ 25 %
BB07			- 25 %
BB08		Lysregulering	Ingen
BB09			Betydelig
BC01	BETA Klasse C	Standard	Standard
BC02		Bygningsmasse	+ 25 %
BC03			- 25 %
BC04		Solafskærmning	Ingen
BC05			Betydelig
BC06		Intern belastning	+ 25 %
BC07			- 25 %
BC08		Lysregulering	Ingen
BC09			Betydelig

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

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

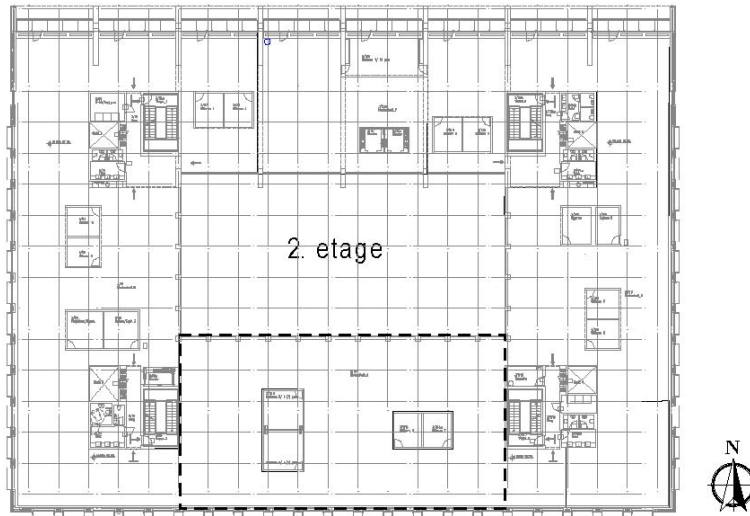
System	Beskrivelse	Tidsplaner	
		Regulering	Tidsangivelse
Personlast 35 personer	35 personer med et aktivitetsniveau svarende til 1,2 met 10 % til stede 90 % til stede 100 % til stede		Hverdage kl. 17-24, lørdag kl. 8-17 Hverdage kl. 8-9 og 16-17 Hverdage kl. 9-16
Udstyr	6,0 W/m ² 10 % tændt 75 % tændt 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 ² i brugstiden og 0,09 l/s m ² udenfor brugstiden.		Altid kl. 0-8 og 17-24 Altid kl. 8-17
Belysning	Særlys 1,0 W/m ² Almen belysning 10 W/m ² , 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 ⁻¹ 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 ₂ 0 ppm	Natkøling uge 21-37, kl. 0-6
		Setpunkt CO ₂ 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 bygningssimuleringsprogram 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.



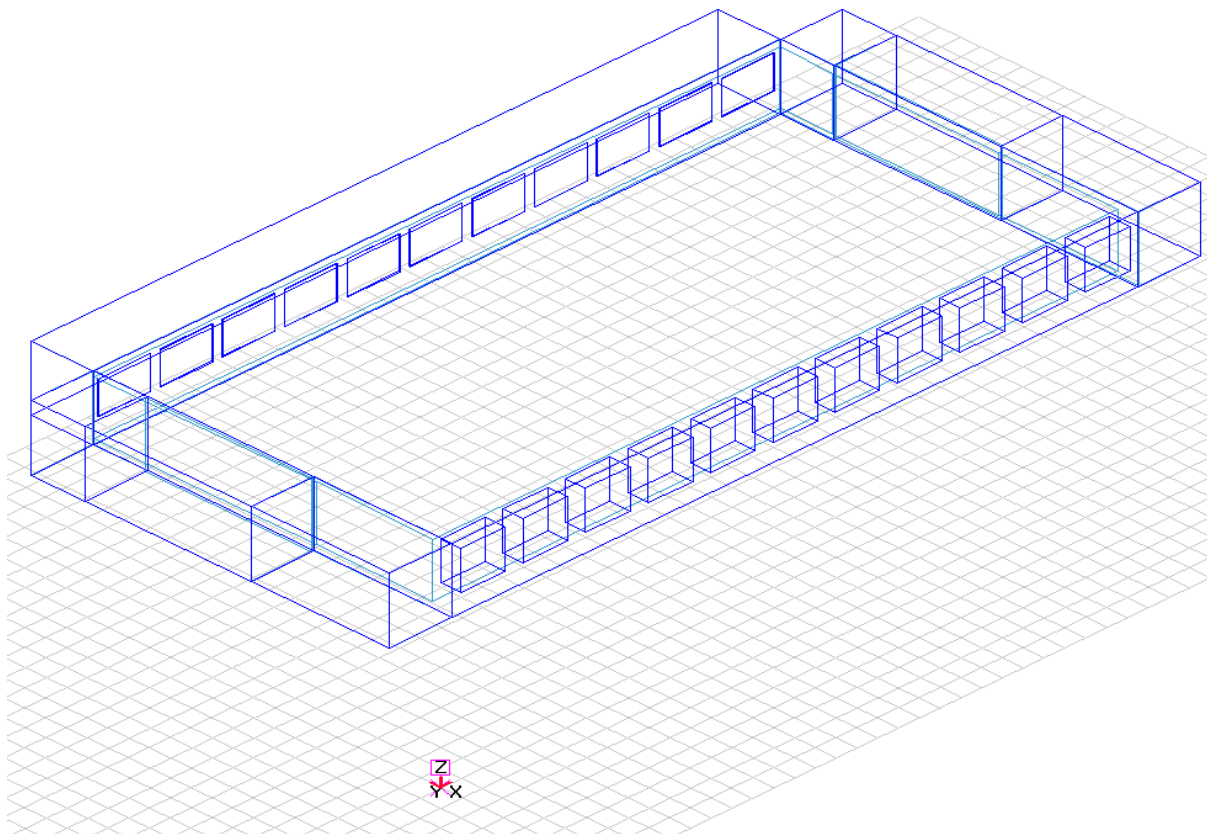
Figur 6-1: Plantegning af 2. sal hvor kontorudsnittet er orienteret mod syd i simuleringerne (i virkeligheden vender den mod øst). Det betragtede område er afgrænset med en stiplede linie.

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.



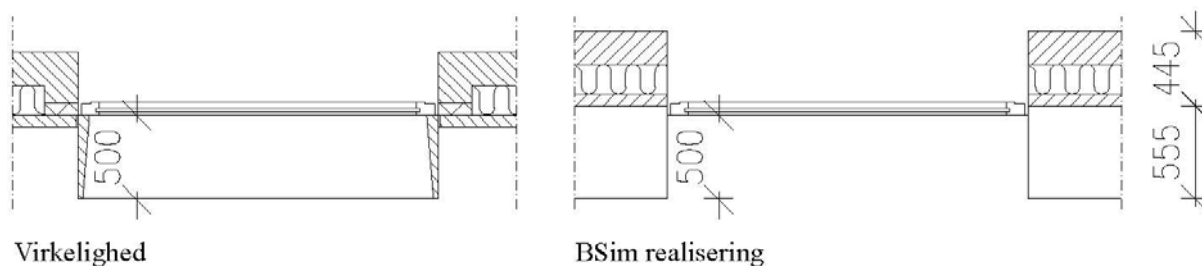
Figur 6-2: BSim model af kontorudsnit.

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 linietaf bliver $4,8 \text{ W/K}$. Ved division af ydervæggens overfladeareal på 52 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 lag 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 m² samt termisk og atmosfærisk indeklima anvendes til at karakterisere bygningens ydeevne.

7.1 Energiforbrug

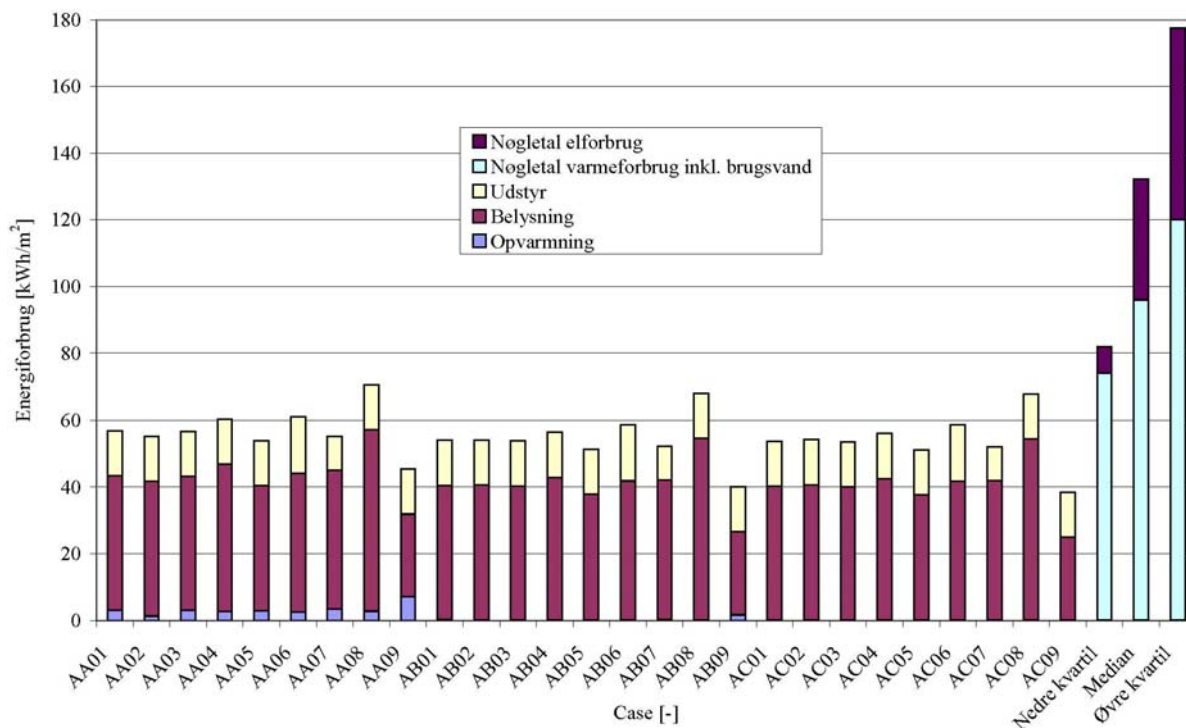
Det årlige forventede energiforbrug simuleret i BSim opdeles i udstyr, belysning og opvarmning for ALFA-bygningen⁴, hvor det for BETA-bygningen opdeles i ventilationsanlæggets ventilator, køling, udstyr, belysning og opvarmning. Udstyr dækker over energiforbruget til computere, PC-skærme, printere etc.

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.

⁴ 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 solafskærmning medfører bestemmes af:

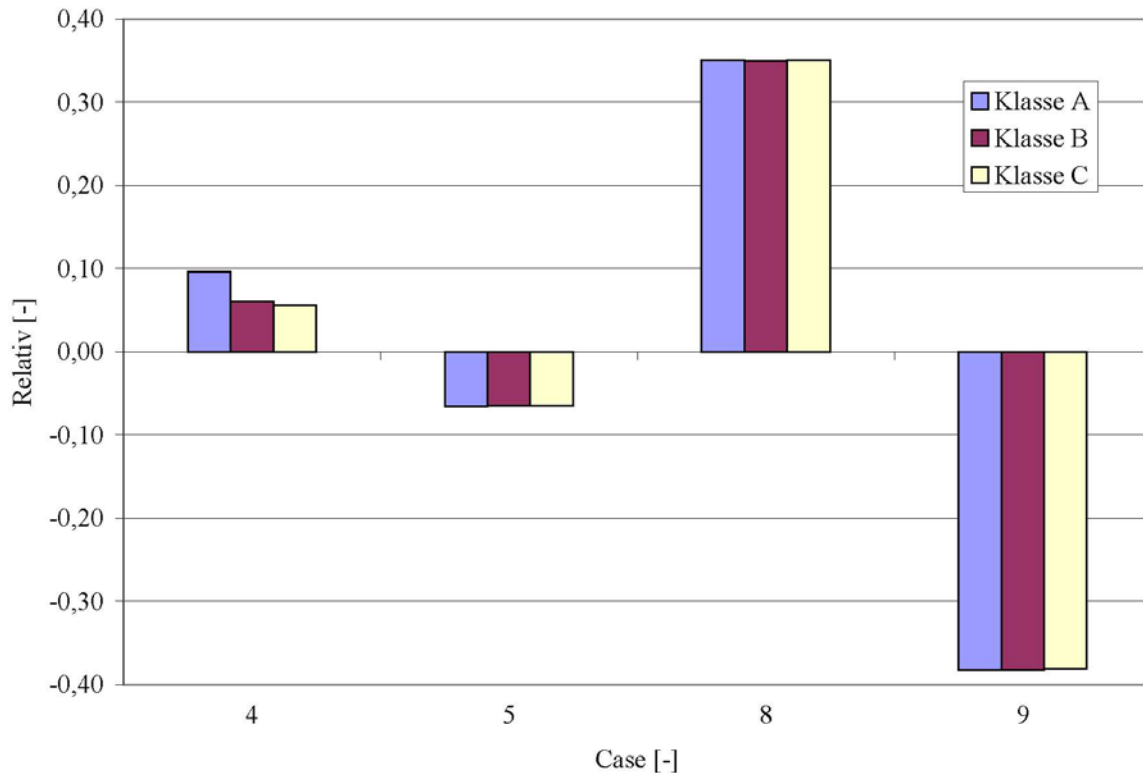
$$\frac{AA04 - AA01}{AA01}$$

hvor

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

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

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

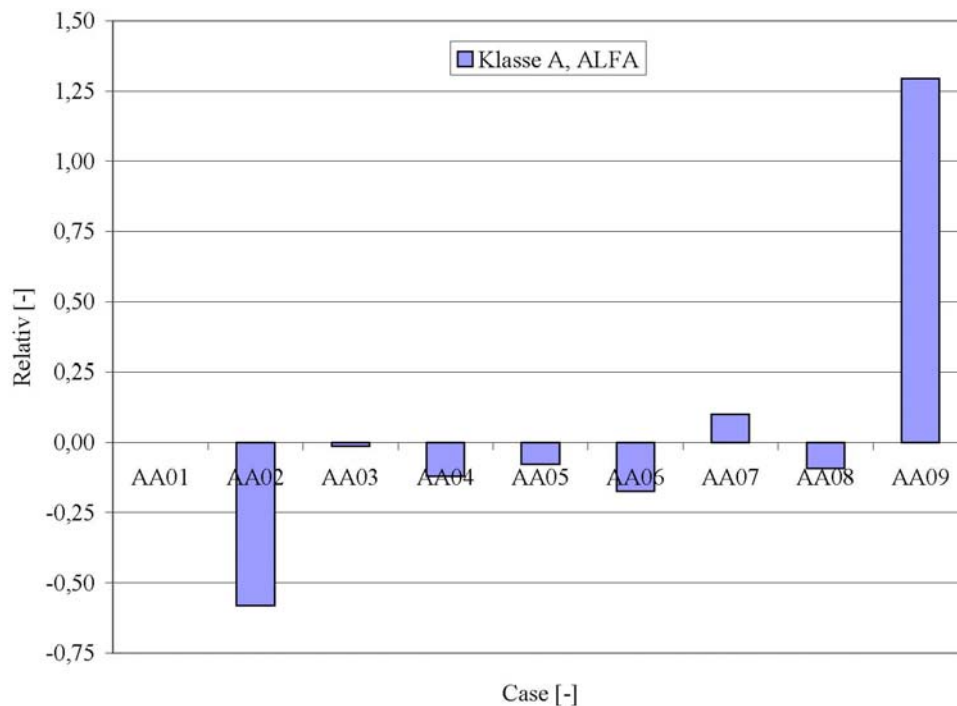


Figur 7-2: Relativ ændring af energiforbrug til belysning i forhold til parametervariation for ALFA-bygningen case 4, 5, 8 og 9 klasse A, B og C i forhold til case 1 (se oversigt over simuleringer i Tabel 5-1).

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.

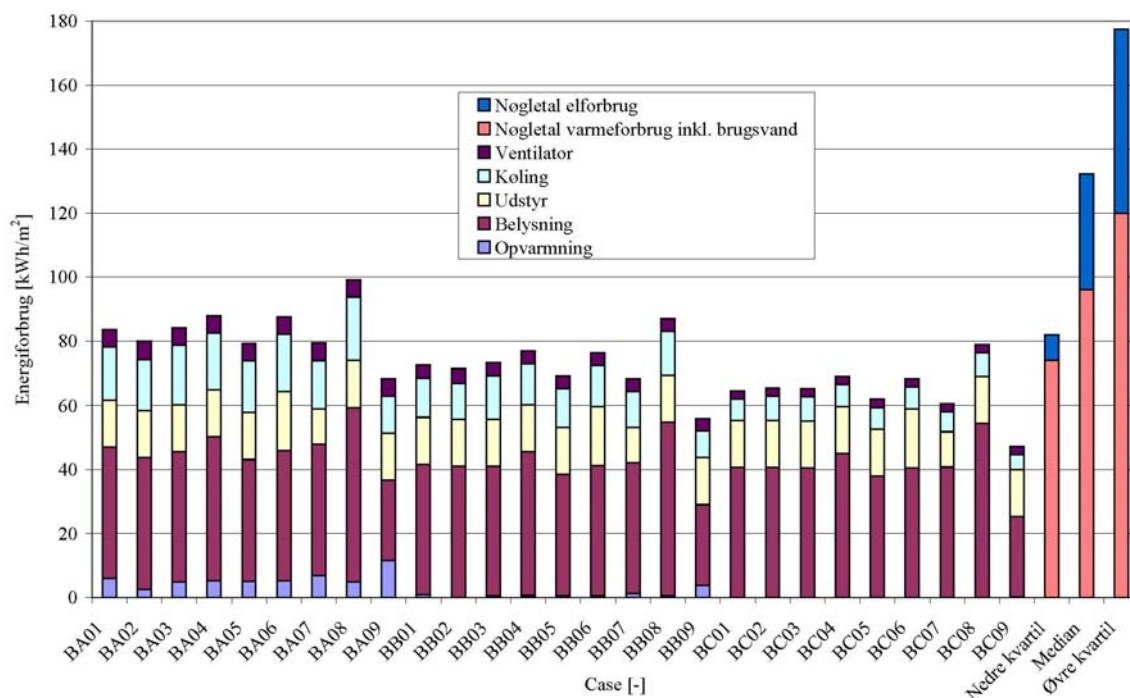
Ændringen af energiforbruget til opvarmning i forhold til parametervariationen for ALFA-bygningen, klasse A, er opsummeret på Figur 7-3. For klasse B ses et næsten identisk resultat, dog får parametrene større betydning for varmebehovet, da setpunktet for opvarmning er lavere, hvilket kan ses i bilag 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

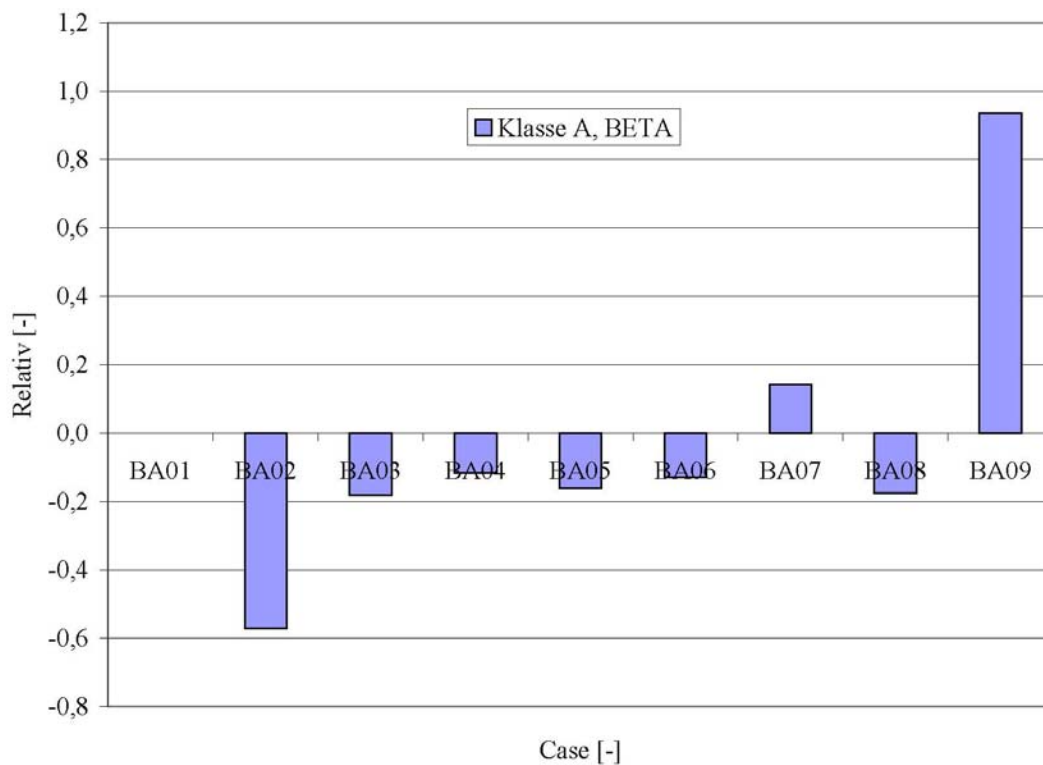
Ud fra simuleringerne er det forventede totale energiforbrug for BETA-bygningen opsummeret på Figur 7-4. For BETA-bygningen er der anvendt et ventilationsanlæg med varmegenindvinding, hvor virkningsgraden er på 70 % samt en samlet effektivitet af motor, ventilator etc. ligeledes på 70 %. Endvidere antages det, at der anvendes et anlæg med variable luftydelse, hvormed det specifikke elforbrug til lufttransport ikke må overskride 2500 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).

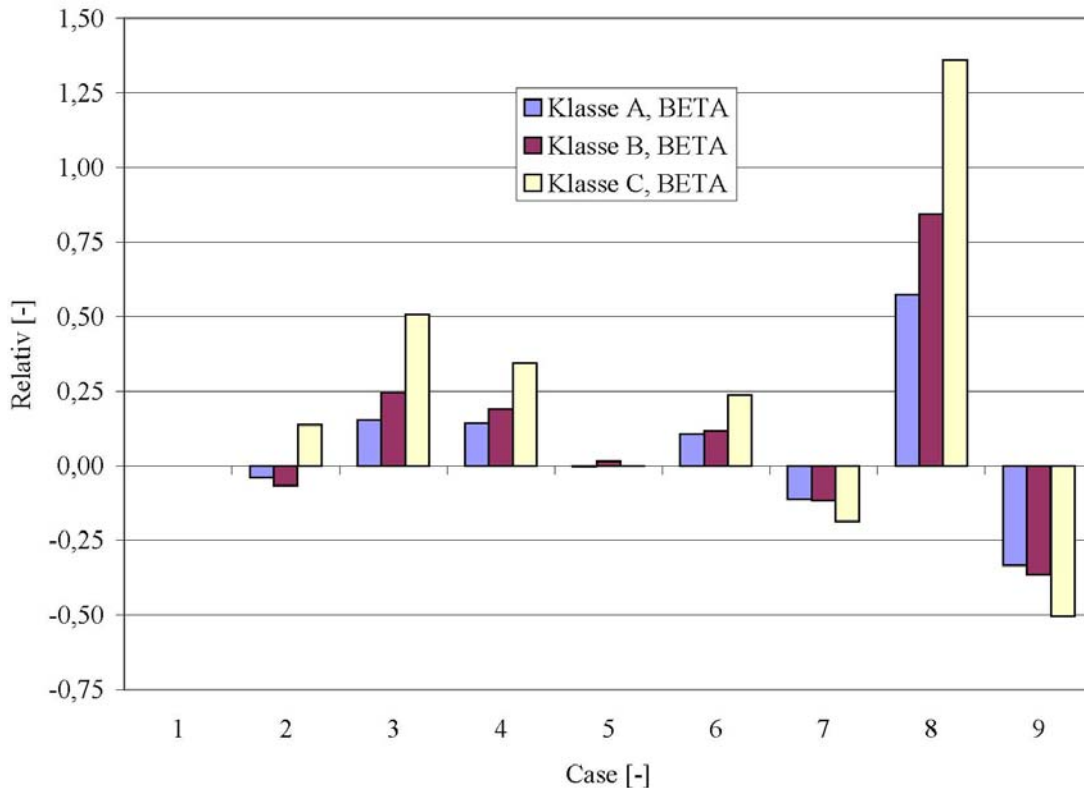
Som for ALFA-bygningen falder det totale energiforbrug i takt med faldende forventninger til indeklimaet, hvilket var at forvente, da det ønskede setpunkt for operative temperatur er lavere ved opvarmning for forventningsklasse C end A etc. samt et større tilladeligt interval for den operative temperatur. 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 varmekonsumet 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 varmekonsumet vokser kraftigt ved kontinuert lysstyring.



Figur 7-5: Relativ ændring af varmekonsumet 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.



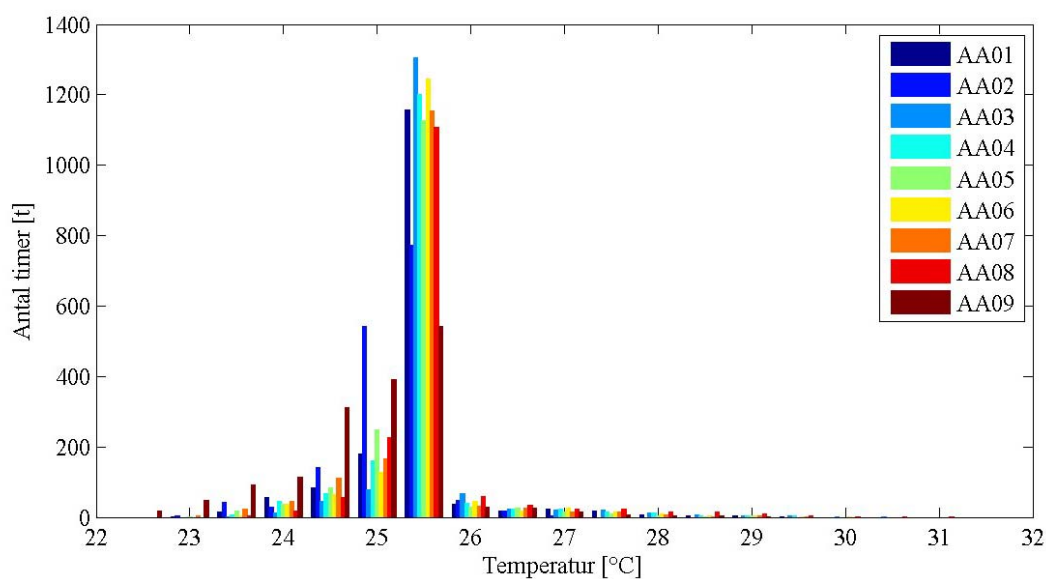
Figur 7-6: Relativ ændring af kølebehov i forhold til case 1 bestemt via parametervariation for BETA-bygningen ved forventningsklasse A, B og C.

7.2 Termisk indeklima

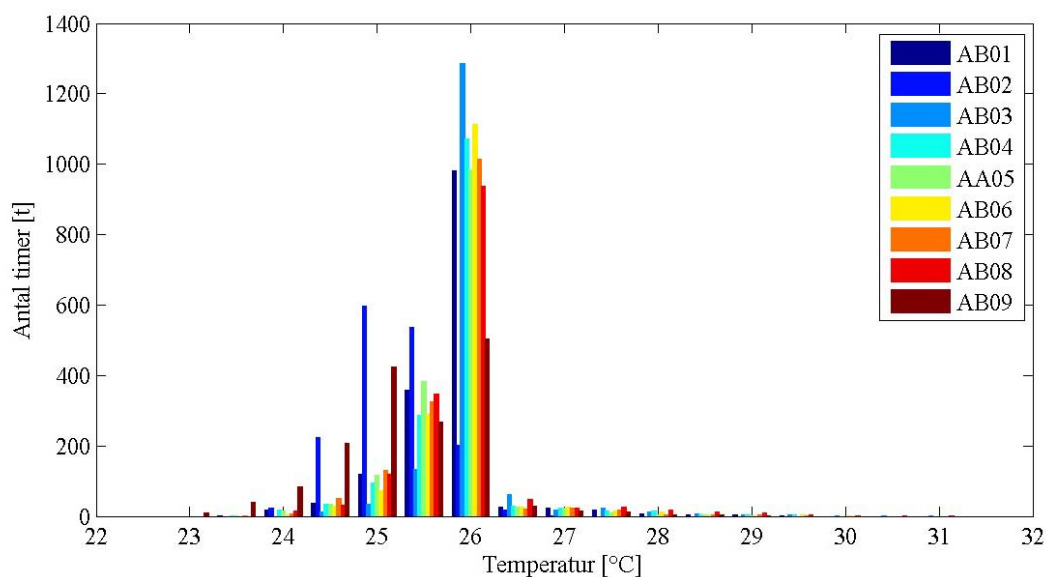
Bygningens ydeevne vedrørende det termiske indeklima belyses ved den operative temperatur bestemt via BSim simuleringerne i afhængighed af forventningsklasse samt ALFA- eller BETA-bygning for varmesæsonen og sommerperioden. Varmesæsonen går fra den 16. september til den 15. maj, hvor sommerperioden er 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 vejledningen i [DS 474, 1994].

7.2.1 Operativ temperatur – ALFA-bygning, sommer

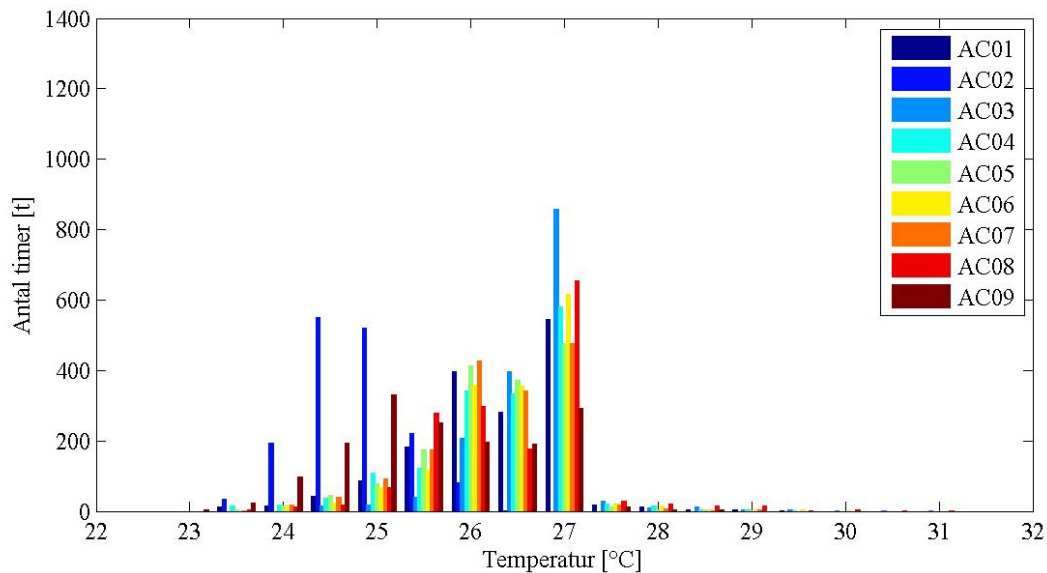
På Figur 7-7, Figur 7-8 og Figur 7-9 kan resultaterne med hensyn til den operative temperatur om sommeren for henholdsvis forventningsklasse A, B og C ses. På figurene er hyppigheden af den operative temperatur i intervalspring af 0,5 °C vist.



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].

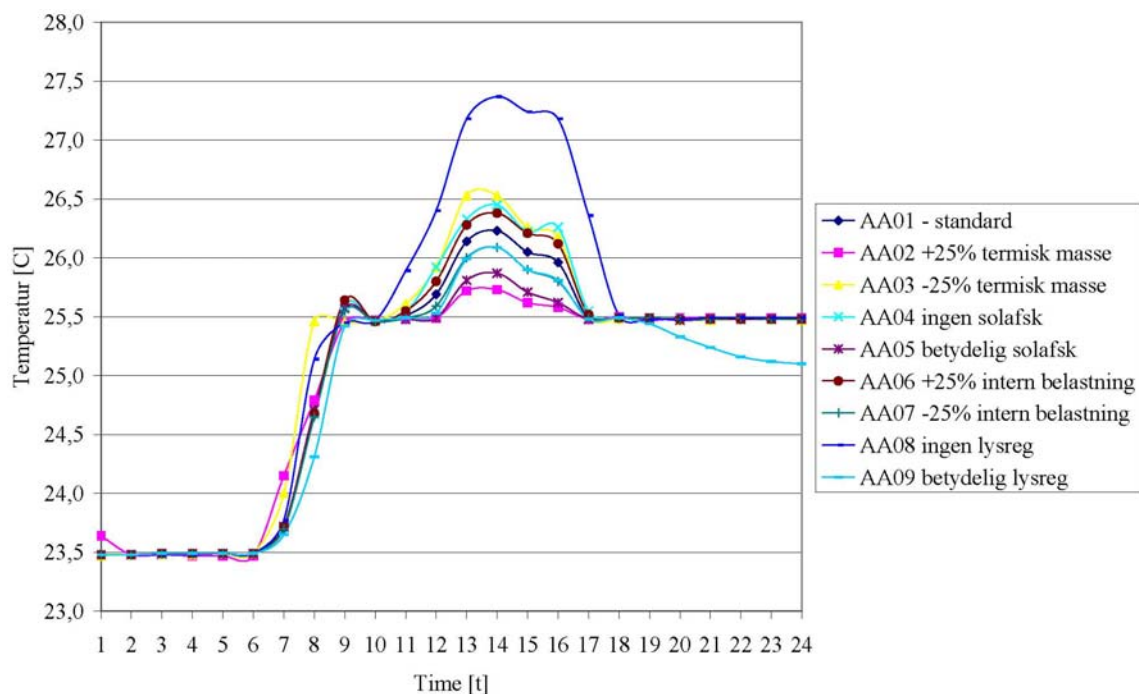


Figur 7-9: Histogram for den operative temperatur for forventningsklasse C i sommerperioden for ALFA-bygningen. Nedre og øvre grænse for ønsket operativ temperatur er henholdsvis 22 °C og 27 °C jævnfør [CR 1752, 1998].

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 døgnet 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.

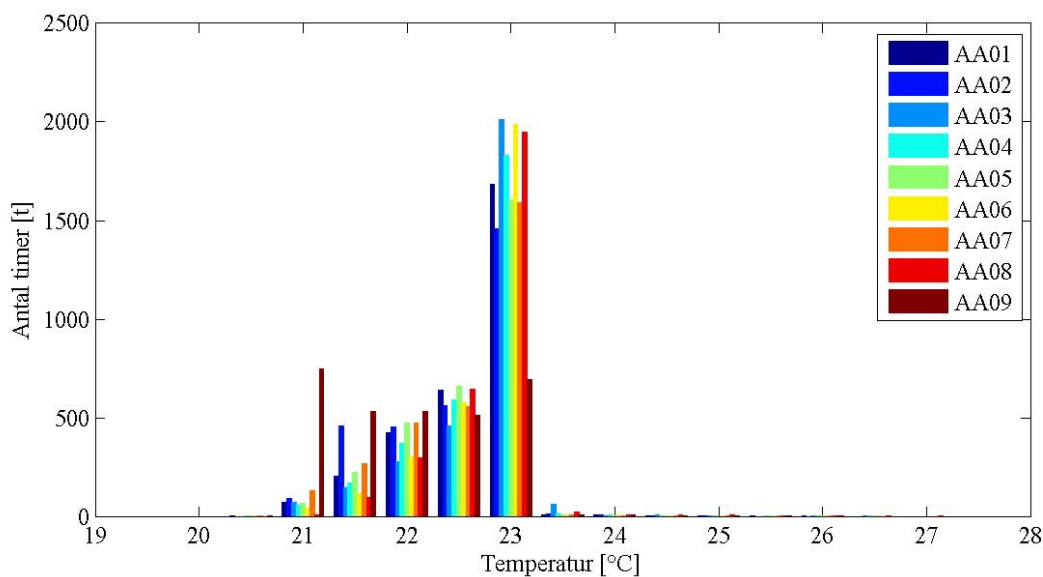
En lignende tendens kan observeres for forventningsklasse B og C, hvis temperaturprofil for den 13. juli kan ses i bilag F.



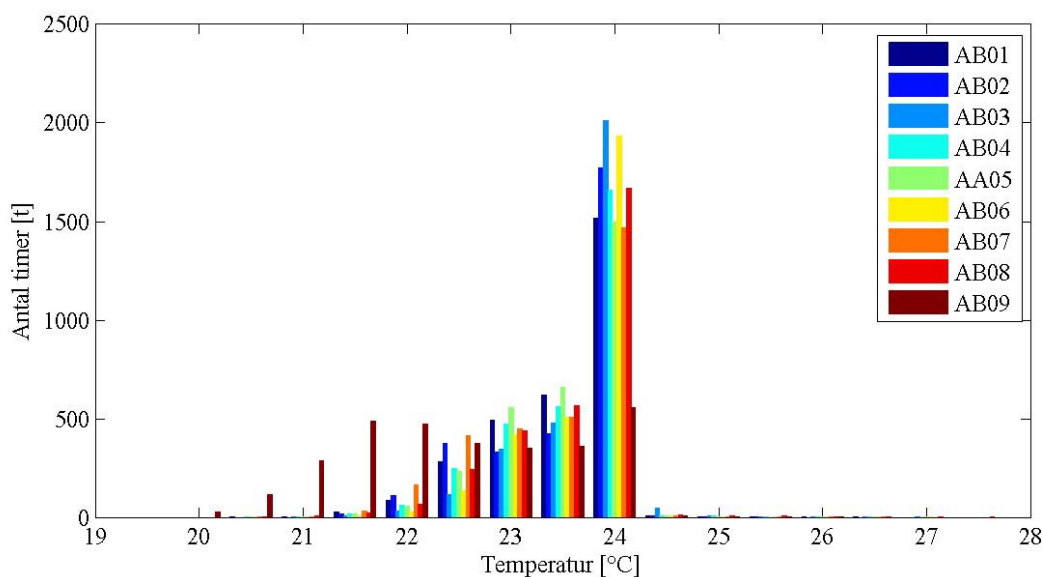
Figur 7-10: Temperaturprofil for den operative temperatur den 13. juli for forventningsklasse A, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse for den ønskede operative temperatur er henholdsvis 23,5 °C og 25,5 °C jævnfør [CR 1752, 1998].

7.2.2 Operativ temperatur – ALFA-bygning, vinter

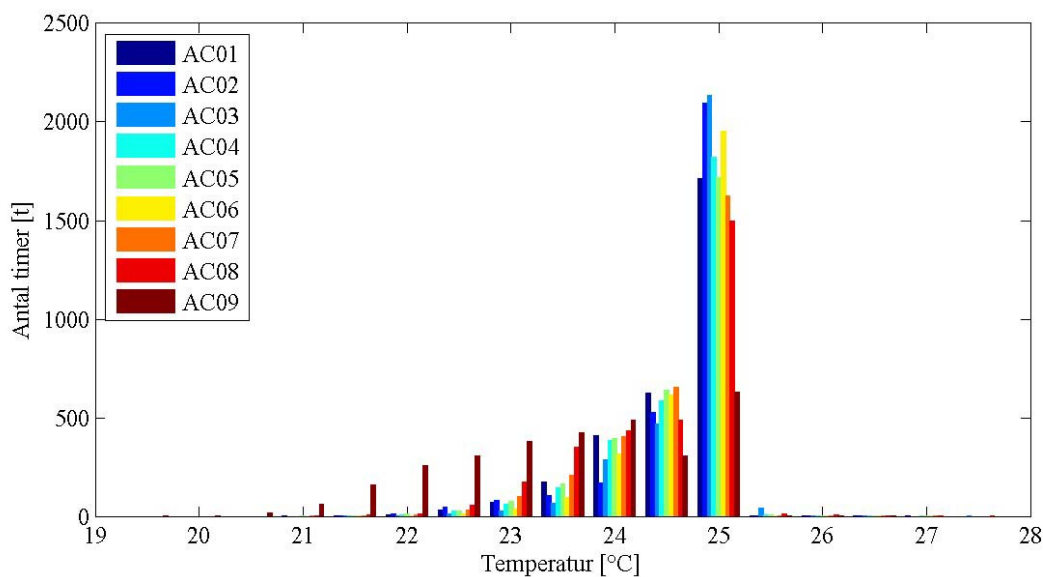
Den forventede operative temperatur om vinteren for forventningsklasse A, B og C kan ses på henholdsvis Figur 7-11, Figur 7-12 og Figur 7-13. På figurerne er hyppigheden af den operative temperatur i intervalspring af 0,5 °C vist.



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].

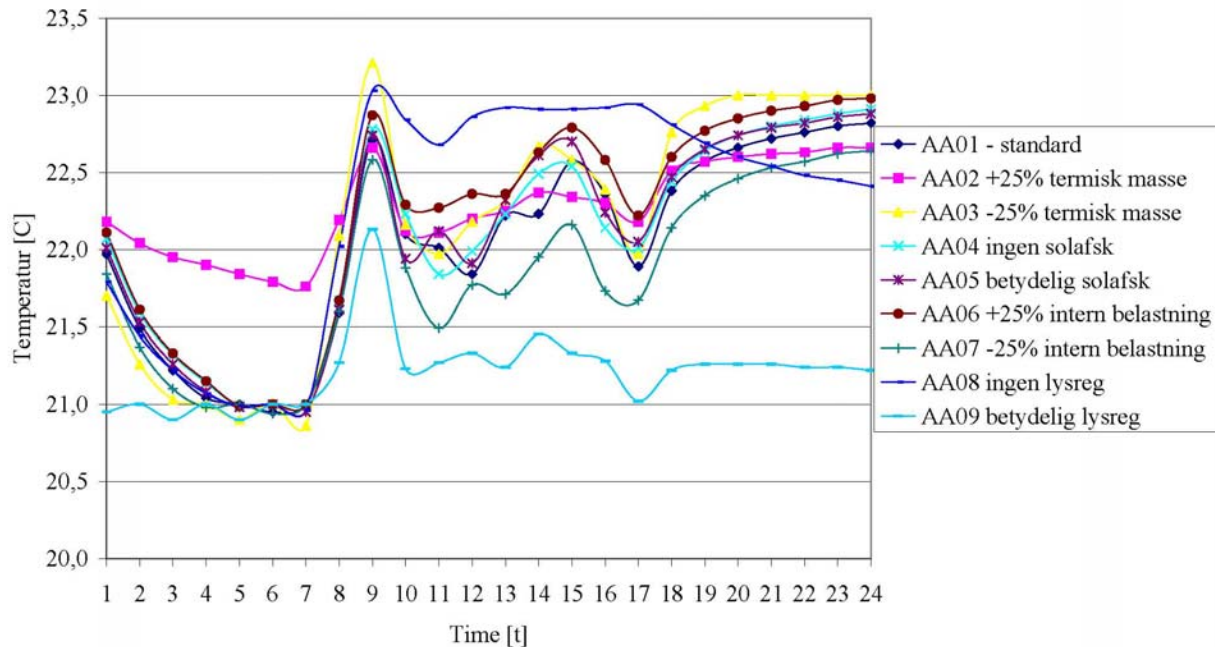


Figur 7-13: Histogram for den operative temperatur for forventningsklasse C om vinteren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse for ønsket operativ temperatur er henholdsvis 19 °C og 25 °C jævnfør [CR 1752, 1998].

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 sol-afskærmning, 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.

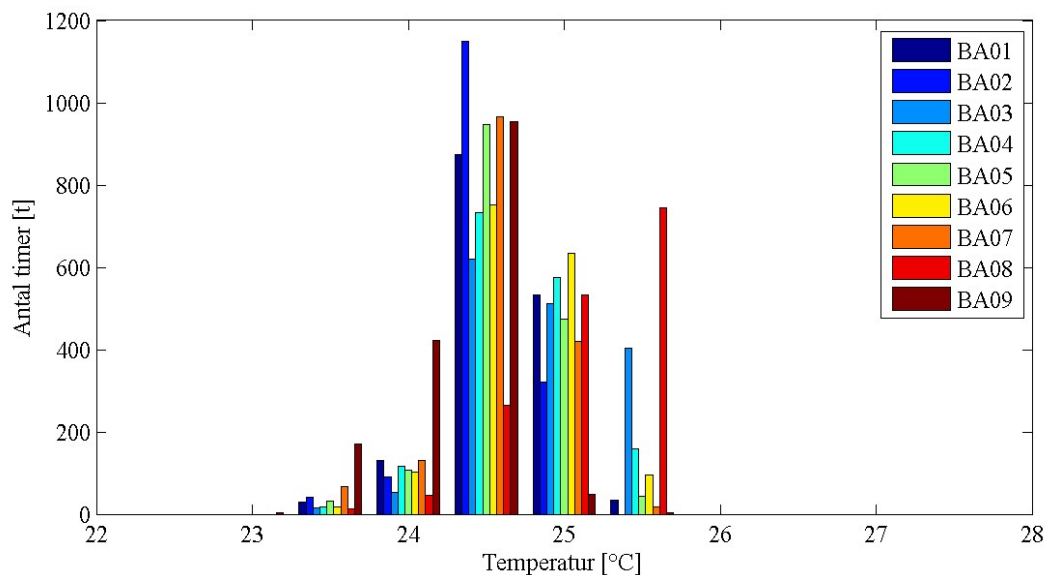
Udsvinget af den operative temperatur som følge af en ændring af den interne belastning, som kan ses på Figur 7-14, er at forvente, da varmetilskuddet til rummet ændres. Ydermere kan det ses, at det er graden af lysregulering, som har størst indflydelse på den operative temperatur.

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.

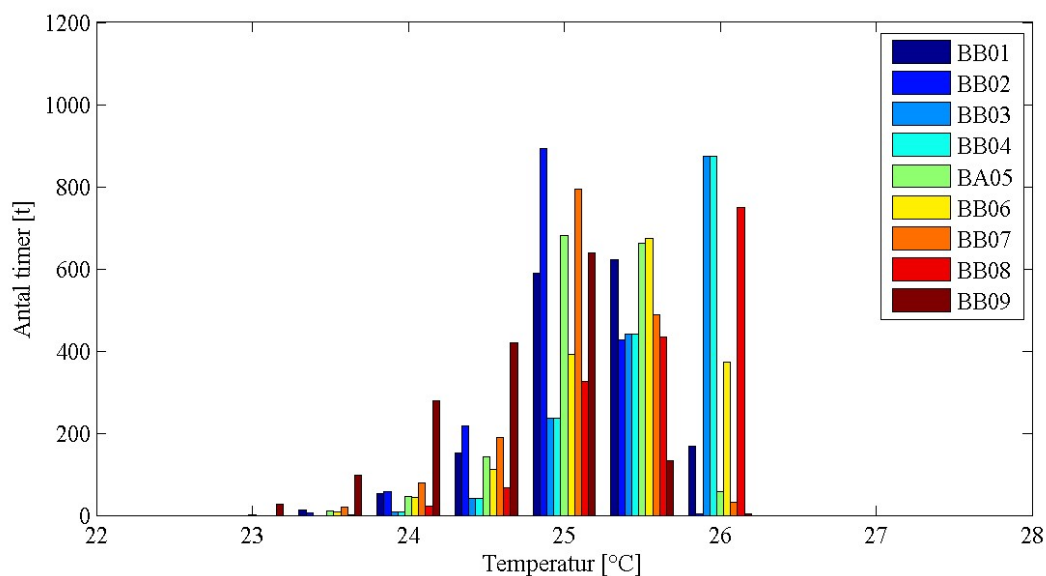
Ved sammenligning af Figur 7-10 og Figur 7-14 kan det ses, at det er nemmere at holde de ønskede setpunkter med ALFA-bygningen for varmesæsonen, end det er om sommeren. Dette fremgår også af de tre fordelinger af den operative temperatur på Figur 7-11, Figur 7-12 og Figur 7-13.

7.2.3 Operativ temperatur – BETA-bygning, sommer

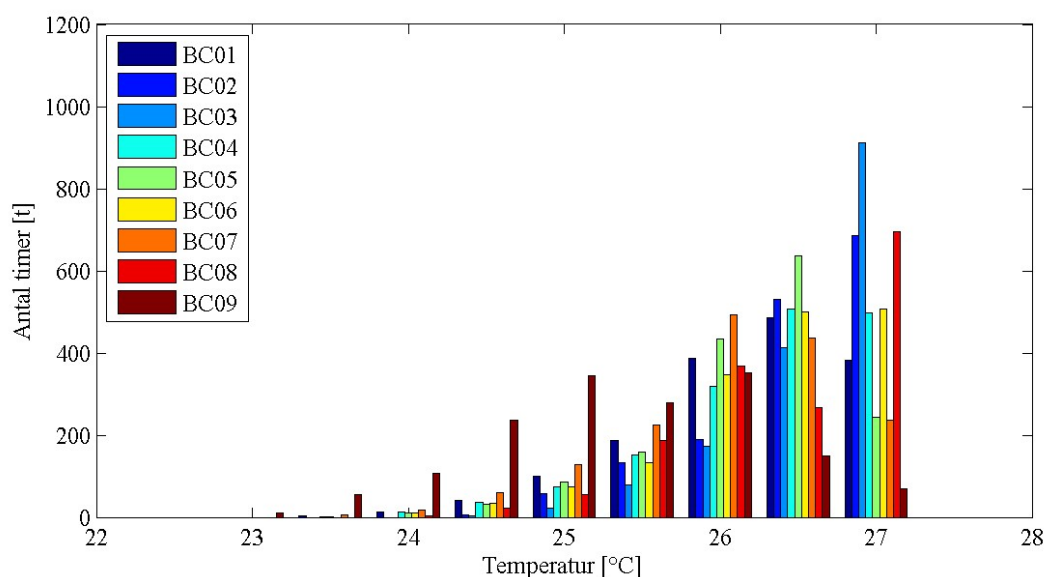
På Figur 7-15, Figur 7-16 og Figur 7-17 kan resultaterne for operative temperatur om sommeren for henholdsvis forventningsklasse A, B og C ses. På figurene er hyppigheden af den operative temperatur i intervalspring af 0,5 °C vist.



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].



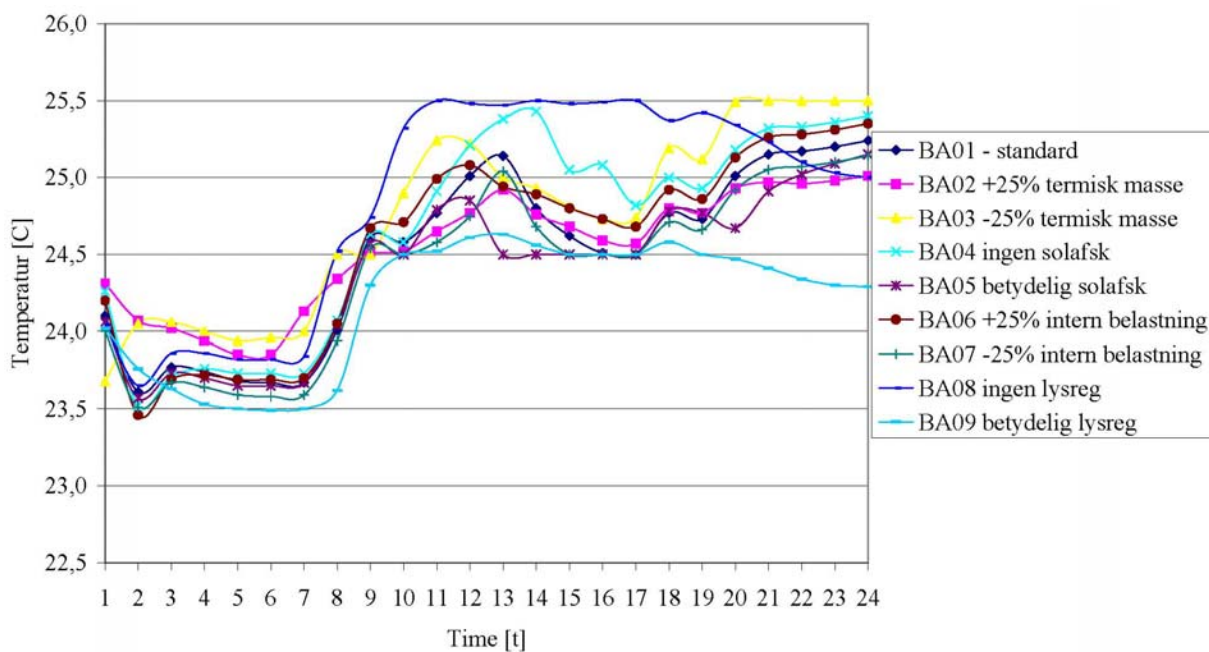
Figur 7-16: Histogram for den operative temperatur for forventningsklasse B om sommeren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse for den ønskede operative temperatur er henholdsvis 23 °C og 26 °C jævnfør [CR 1752, 1998].



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].

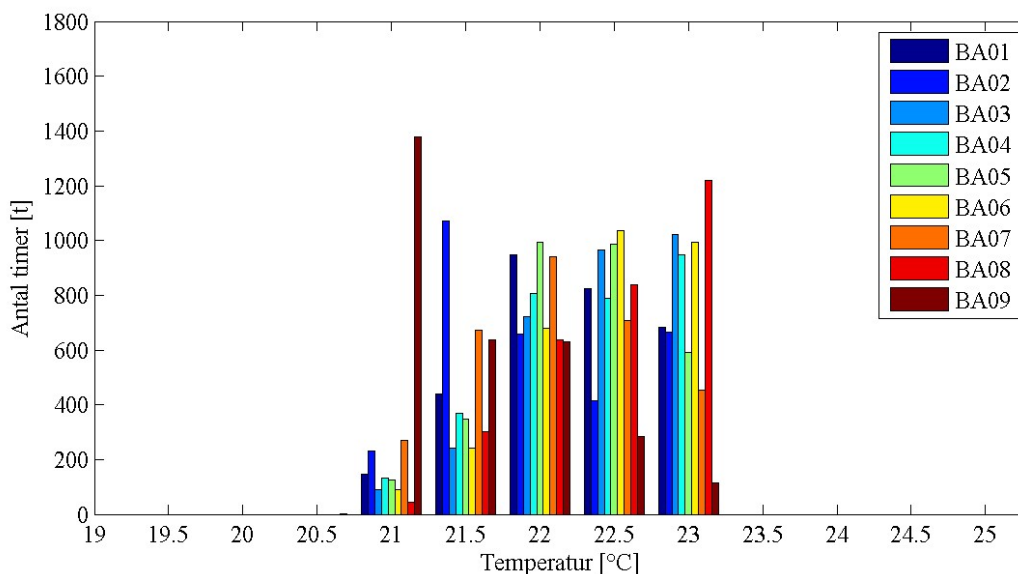
For en typisk varm dag overholdes den nedre og øvre grænseværdi for den operative temperatur på henholdsvis 23,5 °C og 25,5 °C for en BETA-bygning forventningsklasse A, som det kan ses på Figur 7-18. Som for ALFA-bygningen er det igen graden af lysregulering, der er den mest dominerende faktor for den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

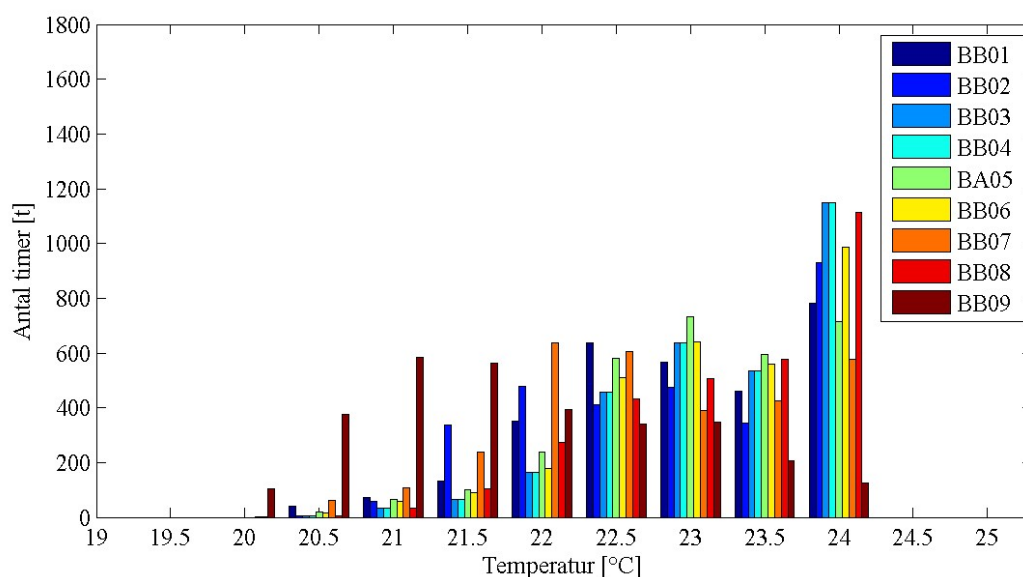
For forventningsklasse B og C, hvis temperaturprofil for den 13. juli kan ses i bilag F, kan lignende tendenser observeres. Her kan varighedskurver for sommeren ligeledes ses.

7.2.4 Operativ temperatur – BETA-bygning, vinter

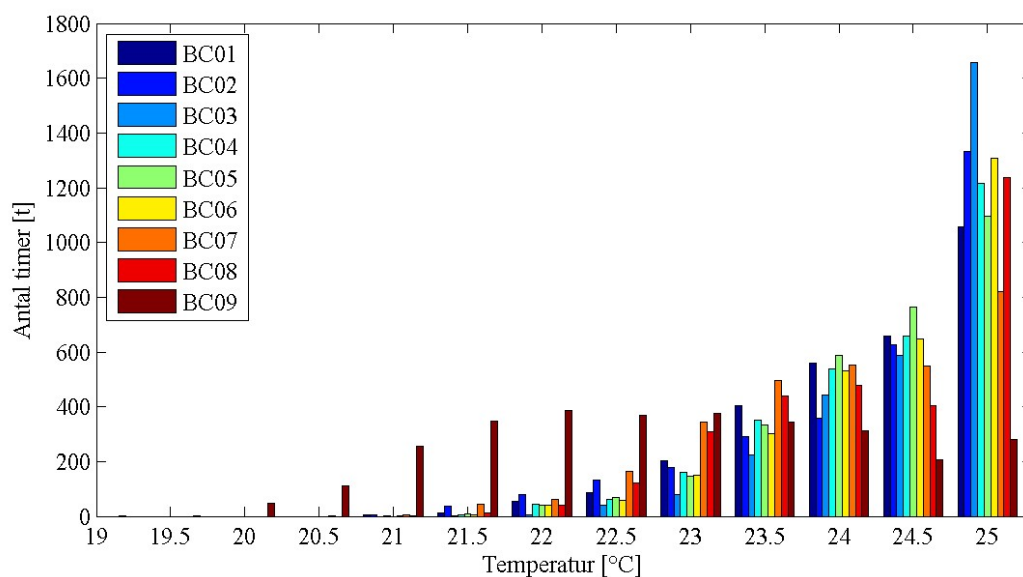
Den operative temperatur om vinteren for forventningsklasse A, B og C kan ses på henholdsvis Figur 7-19, Figur 7-20 og Figur 7-21. På figurerne er hyppigheden af den operative temperatur i intervalspring af 0,5 °C vist.



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].



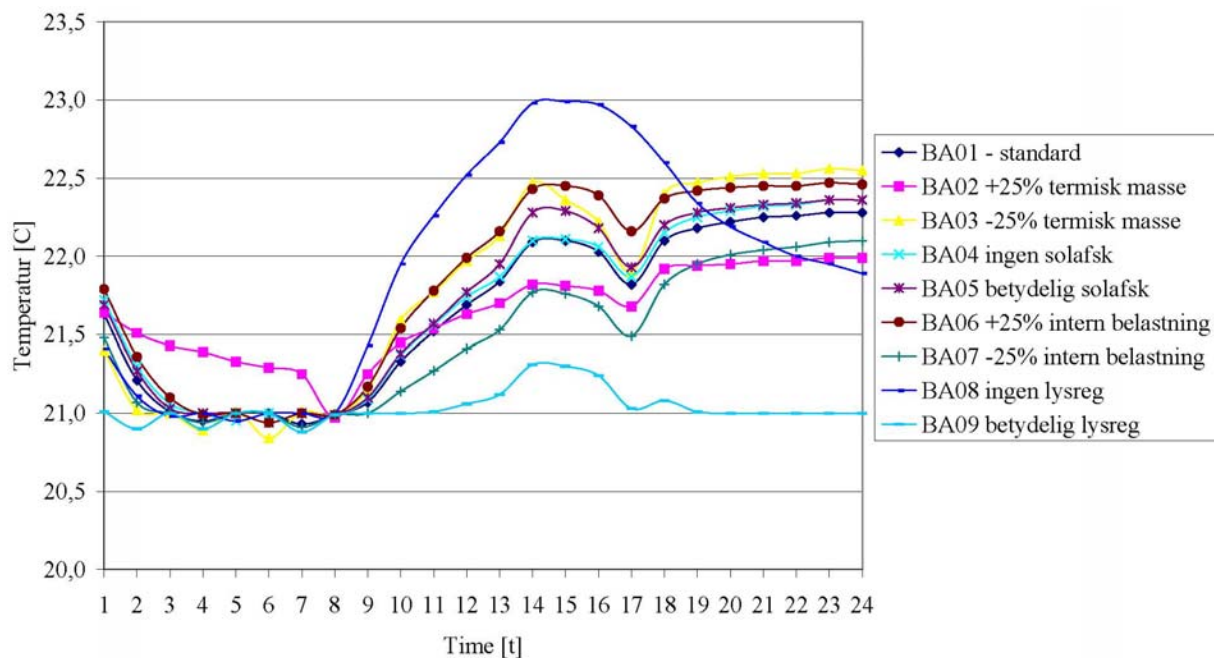
Figur 7-20: Histogram for den operative temperatur for forventningsklasse B om vinteren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse for ønsket operativ temperatur er henholdsvis 20 °C og 24 °C. jævnfør [CR 1752, 1998].



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 jævnfør [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.

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

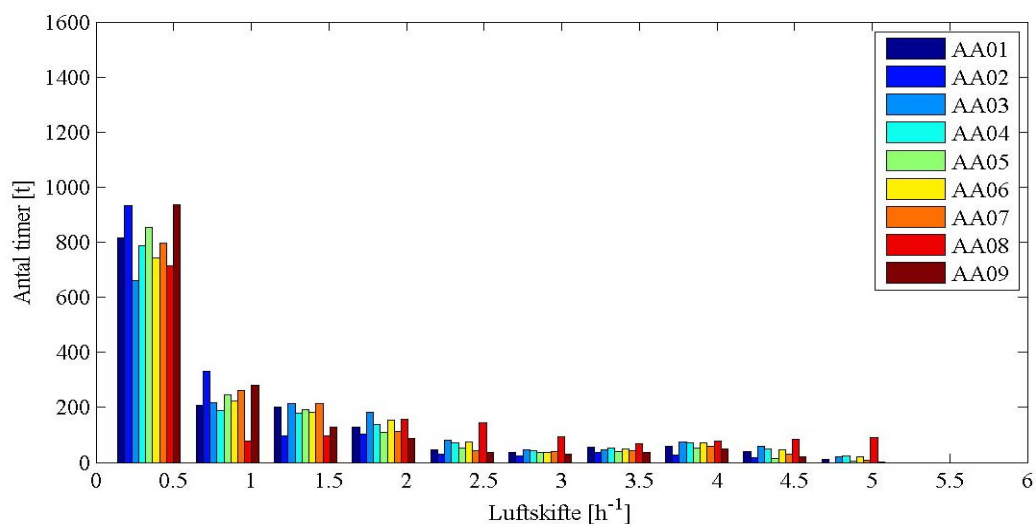
For ALFA-bygningen kan det ud fra Tabel 7-1 ses, at det er udfordrende at holde antallet af timer med temperaturer over 27 °C under de vejledende 25 timer. Ud fra tabellen ses det dog, at det vejledende krav er forholdsvis tæt på at være opfyldt på nær case AA03 og AA08. Det vurderes derfor, at en ”tuning” 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 CO₂ 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 CO₂ koncentrationen for en typisk kold og varm dag for BETA-bygningen dog findes.

7.3.1 Luftskifte – ALFA-bygning, sommer

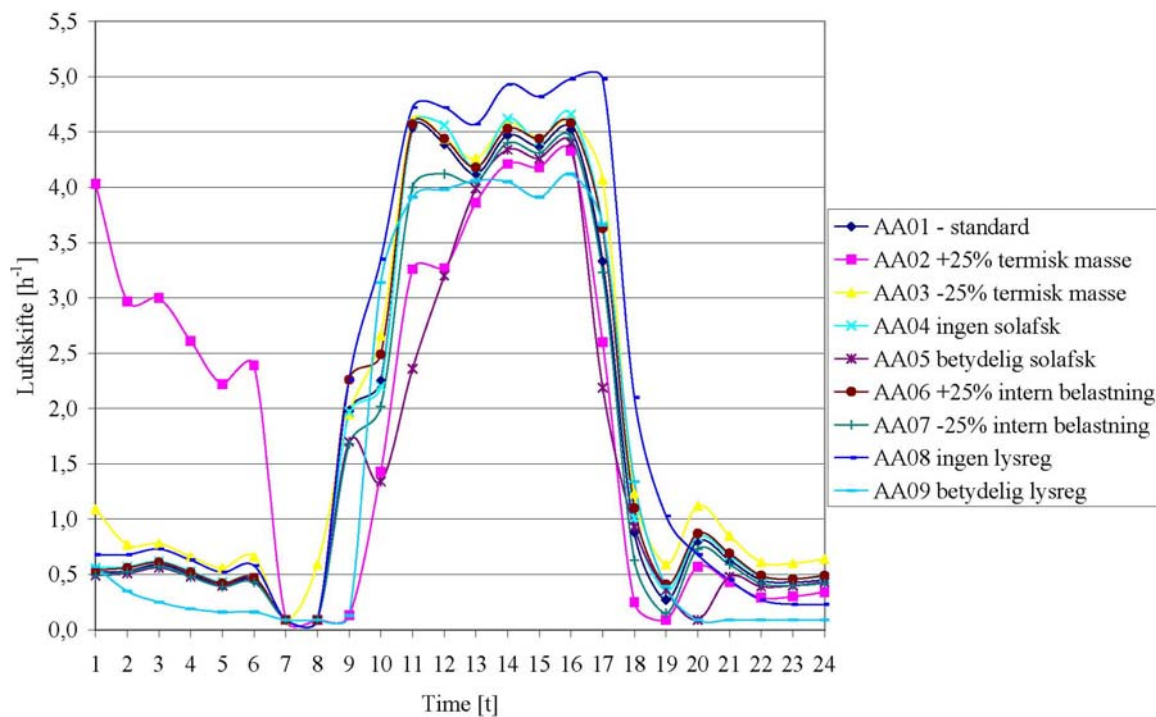
Histogrammer for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A kan ses på Figur 7-23, hvor en relativ høj frekvens ved lave luftskifter kan ses.



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.

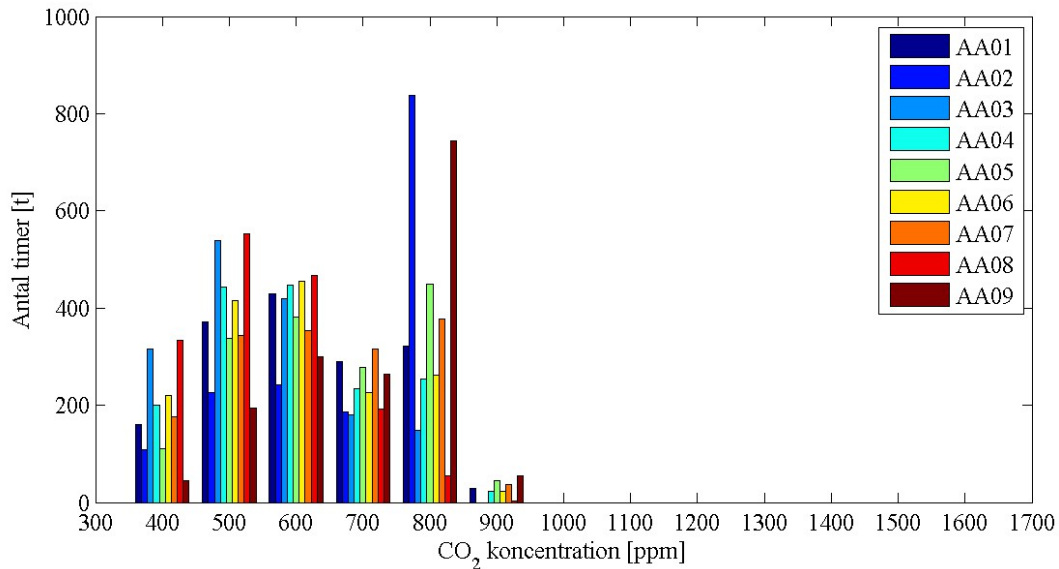


Figur 7-24: Profil af luftskiftet for forventningsklasse A den 13. juli, ALFA-bygning.

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.

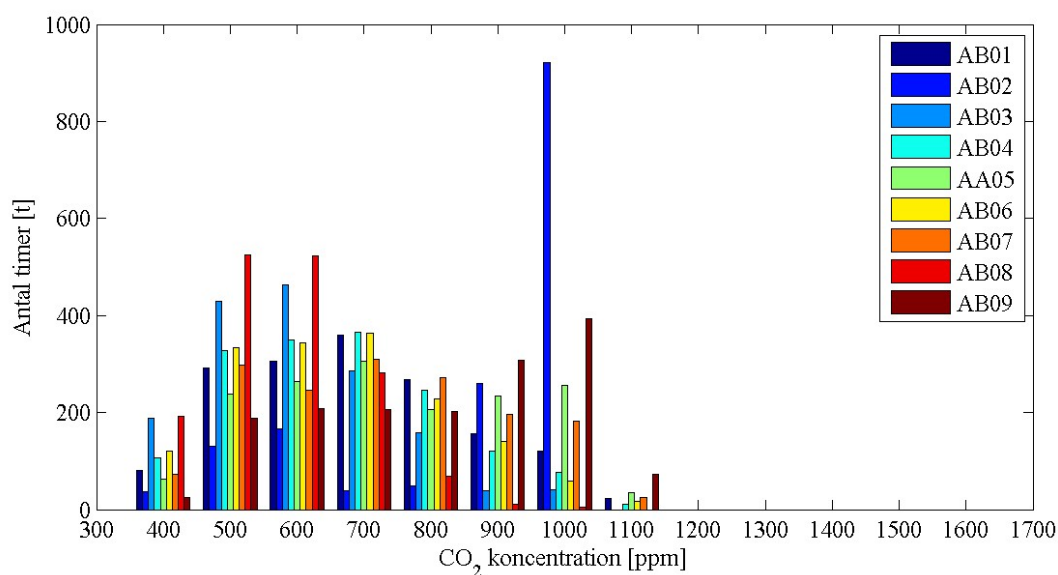
7.3.2 CO₂ koncentration – ALFA-bygning, sommer

Histogrammer for CO₂ 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 CO₂ koncentrationen i intervalspring af 100 ppm vist. I bilag G kan de tilsvarende varighedsdiagrammer for forventningsklasserne ses.

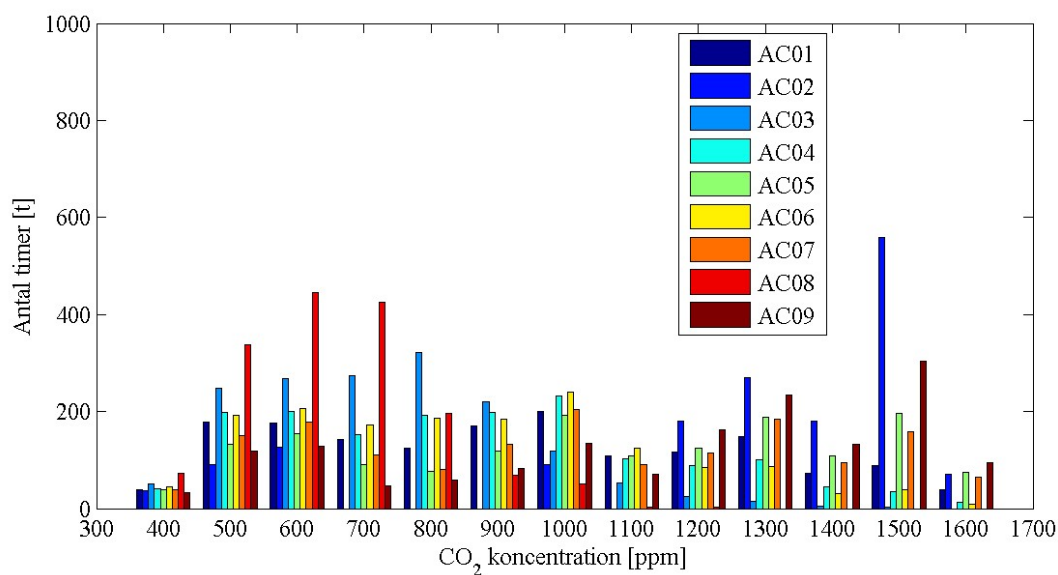


Figur 7-25: Histogram for CO₂ koncentration for forventningsklasse A om sommeren, ALFA-bygning. Øvre grænse for CO₂ koncentration er 810 ppm jævnfør [CR 1752, 1998].

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.



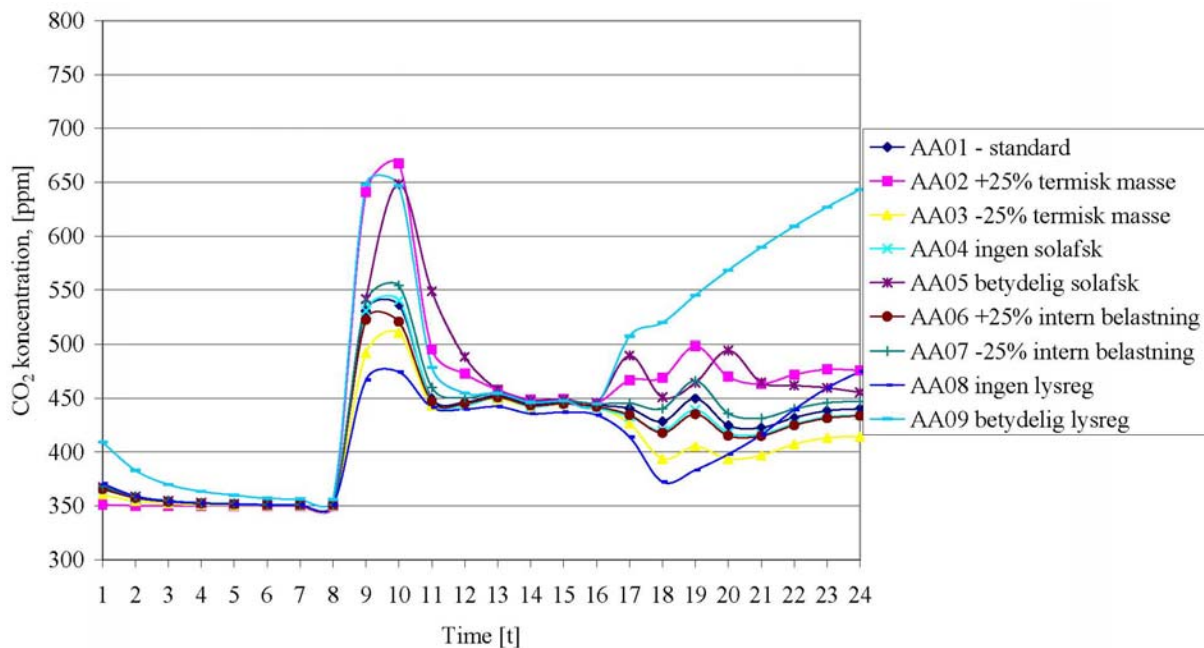
Figur 7-26: Histogram for CO₂ koncentration for forventningsklasse B om sommeren, ALFA-bygning. Øvre grænse for CO₂ koncentration er 1010 ppm jævnfør [CR 1752, 1998].



Figur 7-27: Histogram for CO₂ koncentration for forventningsklasse C om sommeren, ALFA-bygning. Øvre grænse for CO₂ koncentration er 1540 ppm jævnfør [CR 1752, 1998].

For alle tre forventningsklasser kan det ses, at den øvre grænse for CO₂ 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 CO₂ i indeluften kan ses. Det relativt høje antal timer med lave CO₂ koncentrationer skyldes antallet af timer, hvor arbejdsstyrken er på 10 %.

Udviklingen af CO₂ koncentrationen for forventningsklasse A den 13. juli som eksempel på en typisk sommerdag i afhængighed af parametervariation kan ses på Figur 7-28.



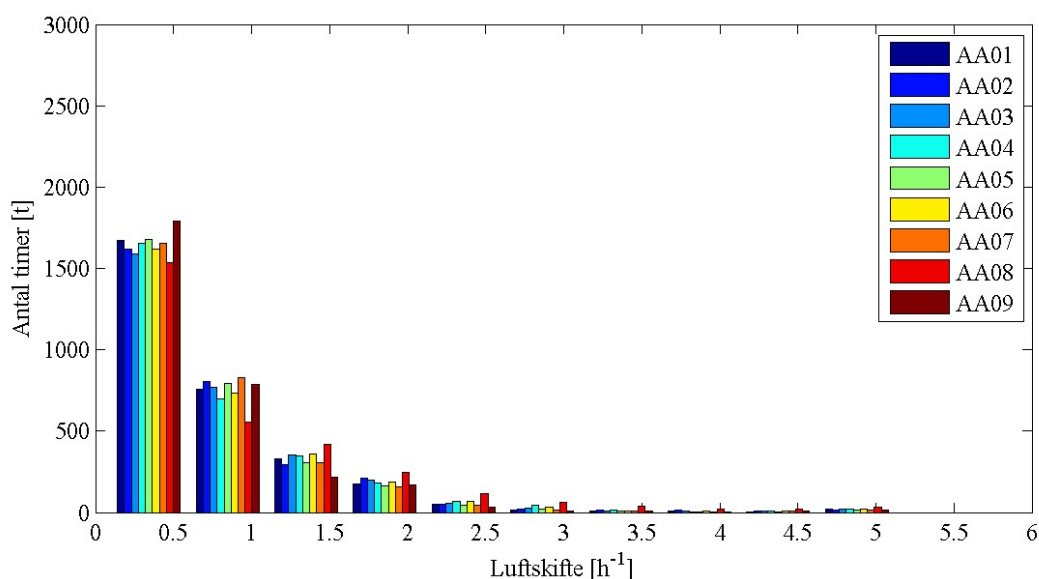
Figur 7-28: Profil af CO₂ koncentrationen for forventningsklasse A den 13. juli, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO₂ koncentration er 810 ppm jævnfør [CR 1752, 1998].

Som det kan ses ud fra Figur 7-28, overskrideres den tilladte grænse på 810 ppm ikke for nogen af casene. Udviklingen af CO₂ 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 CO₂ koncentrationen. Denne tendens ses på Figur 7-28, hvor casene med høj operativ temperatur har en højere CO₂ 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 CO₂ koncentrationen for sommerperioden også kan ses.

7.3.3 Luftskifte – ALFA-bygning, vinter

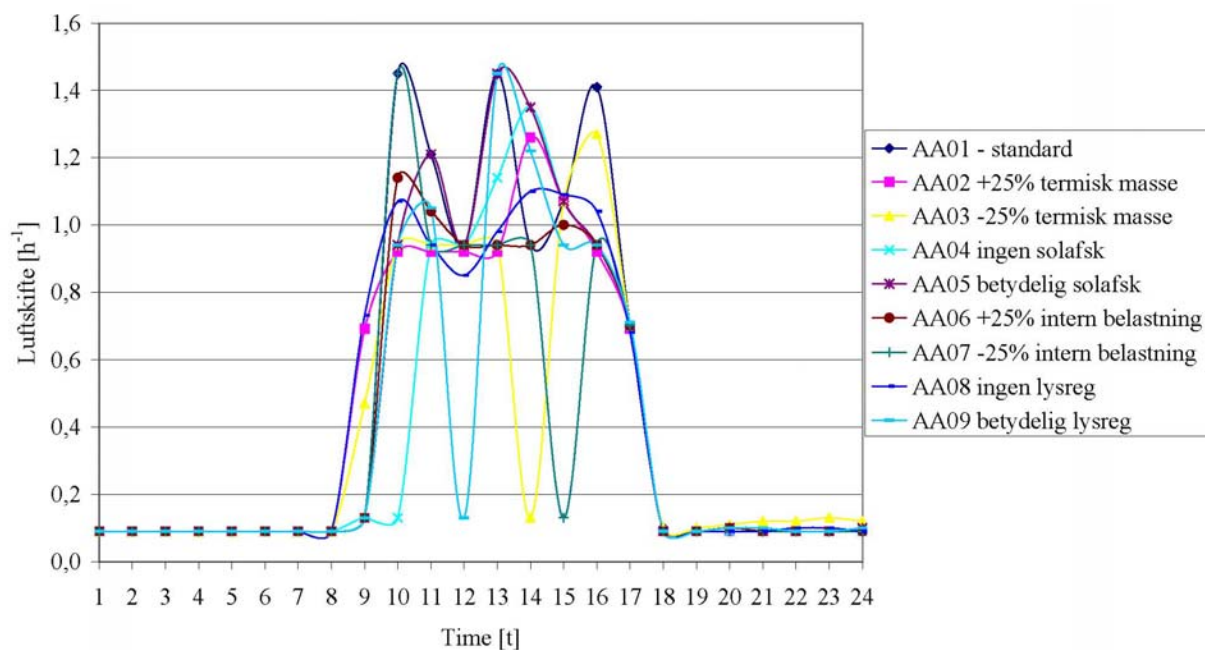
Histogrammet for luftskiftet ved forventningsklasse A om vinteren i afhængighed af parametervariation kan ses på Figur 7-29. Her kan samme tendens som for sommersituationen ses. Forskellen mellem sommer og vinter er, at hyppigheden af lave luftskifter er relativt højere om vinteren.



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.

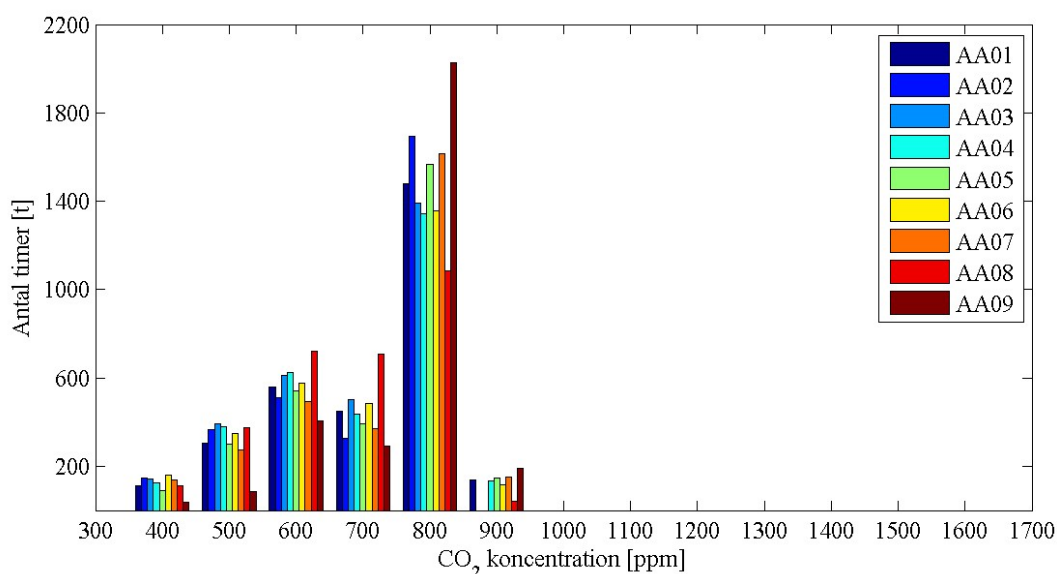


Figur 7-30: Udvikling af luftskiftet for forventningsklasse A den 29. november, ALFA-bygning.

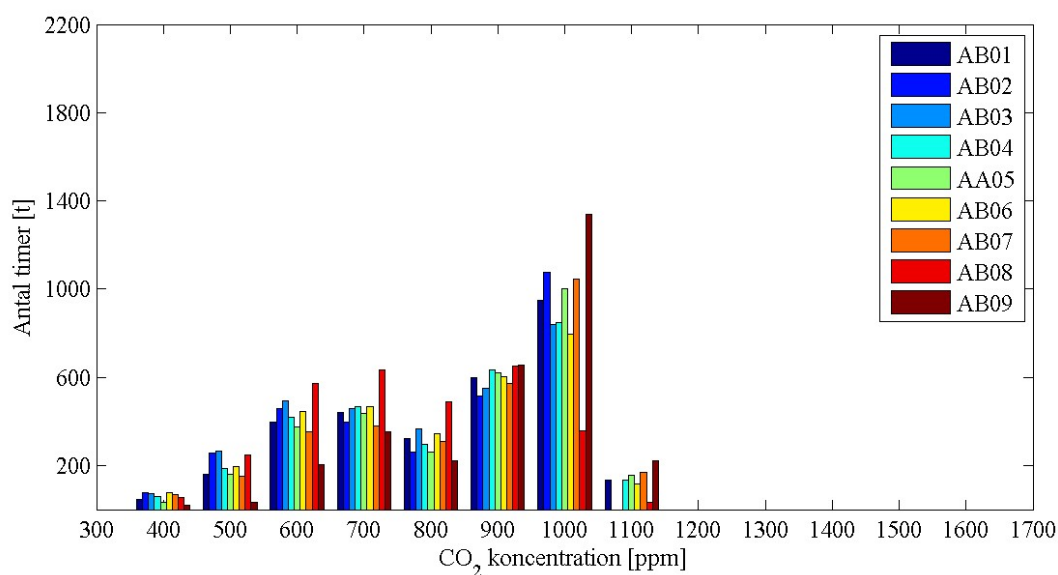
Modsat sommerperioden er luftskiftet præget af en mere fluktuerende tilstand for ALFA-bygningen, som det kan ses på Figur 7-30. Den fluktuerende opførsel af luftskiftet kan ikke direkte tilskrives, at den naturlige ventilation aktiveres for kompensere får for høj operativ temperatur jævnfør Figur 7-14, 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 CO₂ koncentrationen aktiverer den naturlige ventilation, hvilket omtales i det følgende. Det kan dog også skyldes vindens naturlige fluktuation.

7.3.4 CO₂ koncentration – ALFA-bygning, vinter

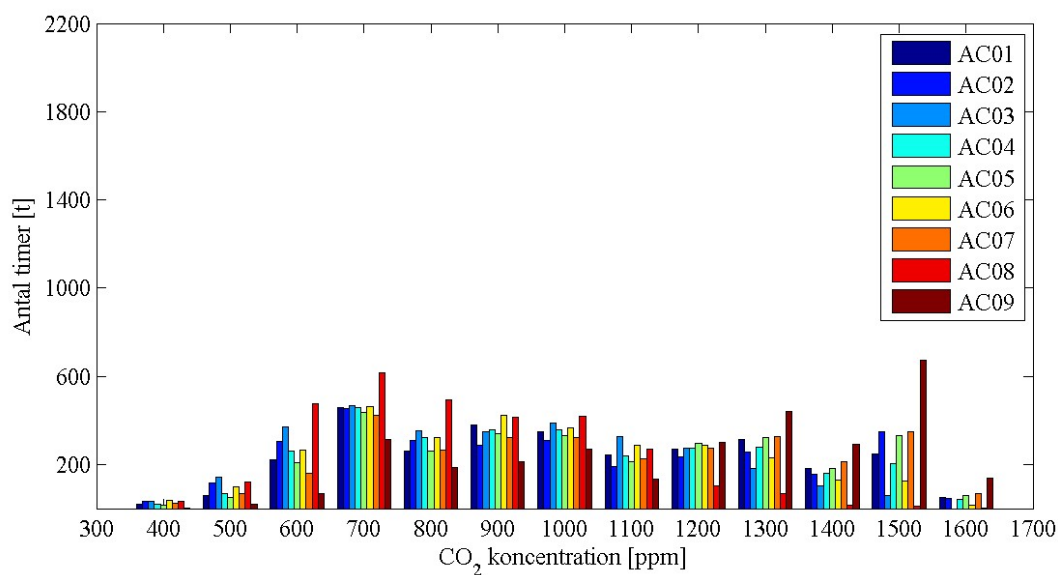
Histogrammer for CO₂ koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A, B og C kan ses på Figur 7-31, Figur 7-32 og Figur 7-33. På figurerne er hyppigheden af CO₂ koncentrationen i intervalspring af 100 ppm vist. I bilag G kan de tilsvarende varighedsdiagrammer for forventningsklasserne ses.



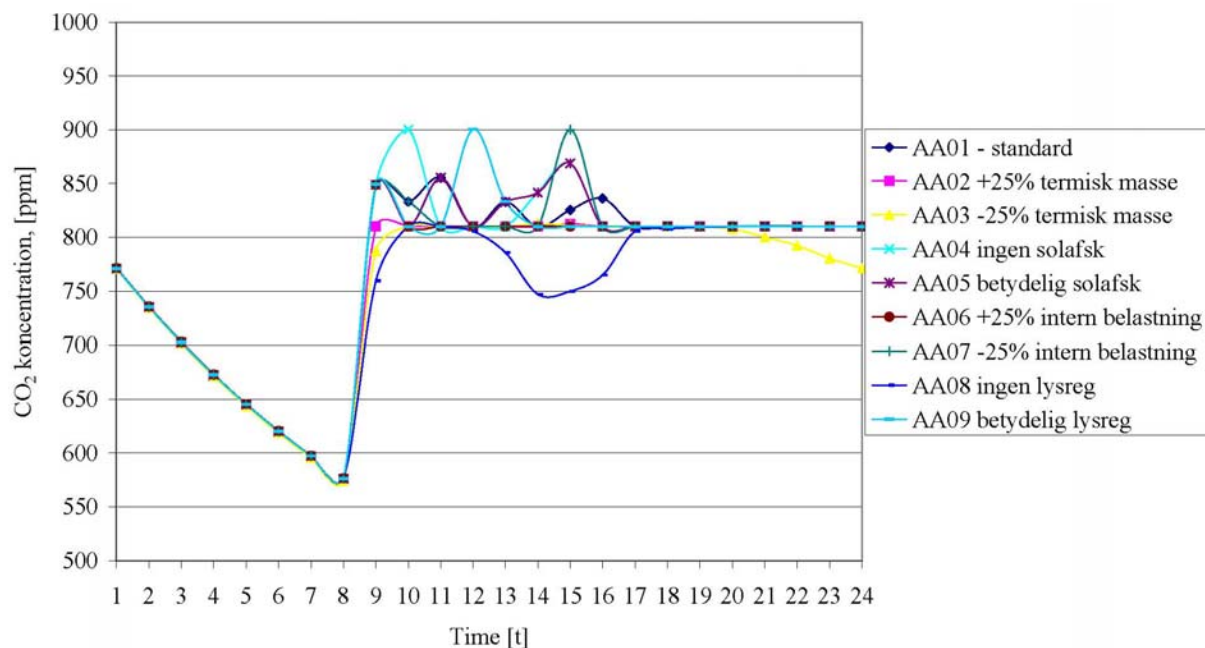
Figur 7-31: Histogram for CO₂ koncentration ved forventningsklasse A om vinteren, ALFA-bygning. Øvre grænse for CO₂ koncentration er 810 ppm jævnfør [CR 1752, 1998].



Figur 7-32: Histogram for CO₂ koncentration ved forventningsklasse B om vinteren, ALFA-bygning. Øvre grænse for CO₂ koncentration er 1010 ppm jævnfør [CR 1752, 1998].



Figur 7-33: Histogram for CO₂ koncentration for forventningsklasse C om vinteren, ALFA-bygning. Øvre grænse for CO₂ koncentration er 1540 ppm jævnfør [CR 1752, 1998].

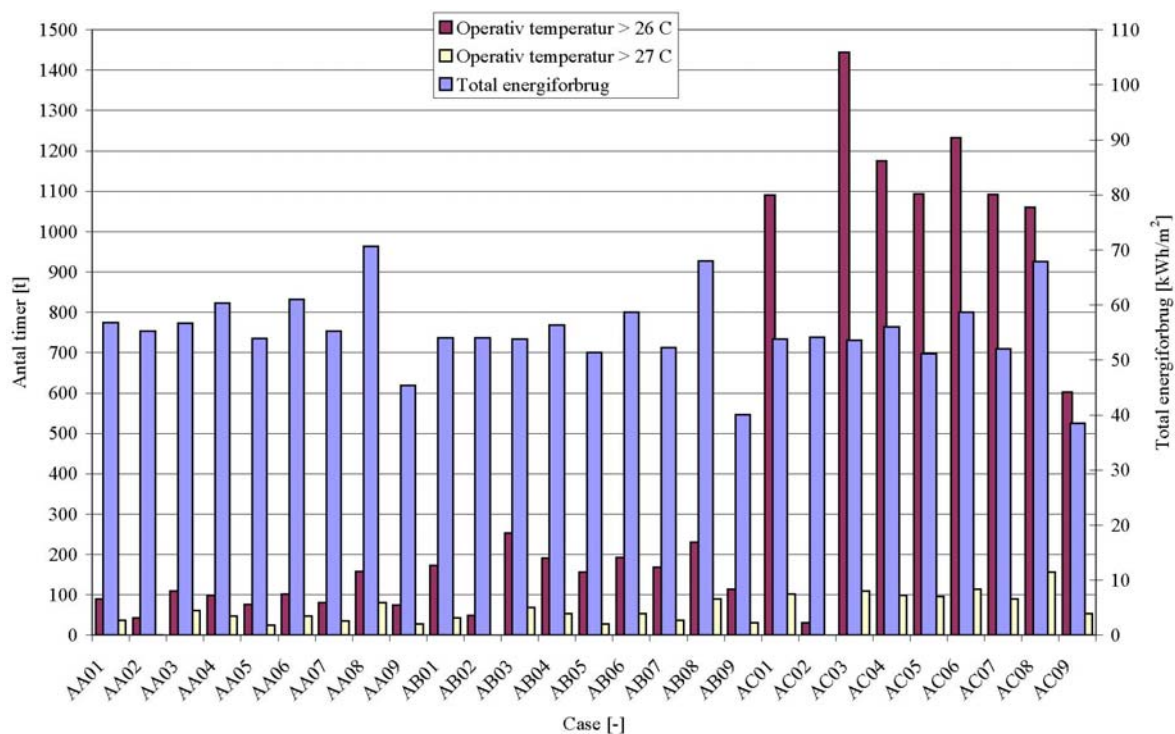


Figur 7-34: Udvikling af CO₂ koncentrationen for forventningsklasse A den 29. november, ALFA-bygning. Øvre grænse for CO₂ koncentration er 810 ppm jævnfør [CR 1752, 1998].

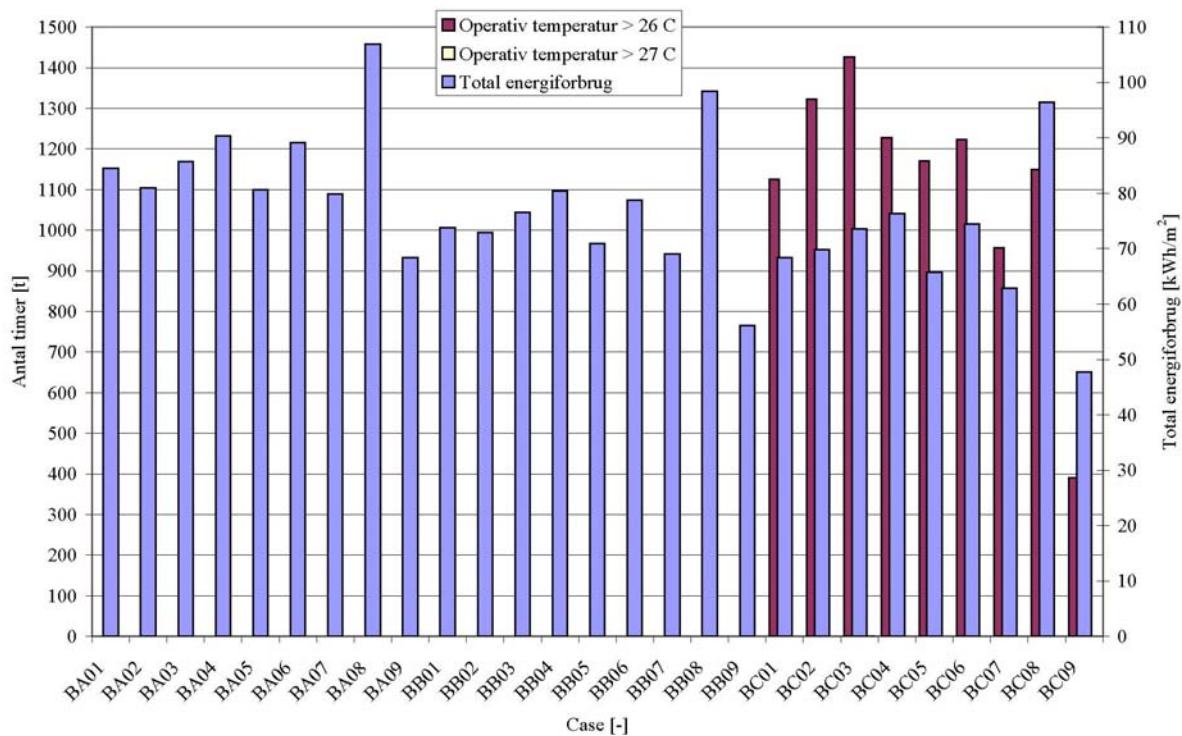
Ud fra Figur 7-34 kan det ses, at CO₂ koncentrationen i indeluften overskrider den øvre værdi på 810 ppm i løbet af dagen. Dette skyldes delvis, at den operative temperatur for hovedparten af casene ikke overskrider den øvre grænse som omtalt tidligere, hvilket også kan ses på Figur 7-14. Den operative temperatur for case AA02, AA03 og AA08 ligger tæt på den øvre grænse, hvilket aktiverer den naturlige ventilation med lavere CO₂ koncentration til følge (svarende til den øvre grænse) for det meste af arbejdsdagen. Om natten falder CO₂ 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.



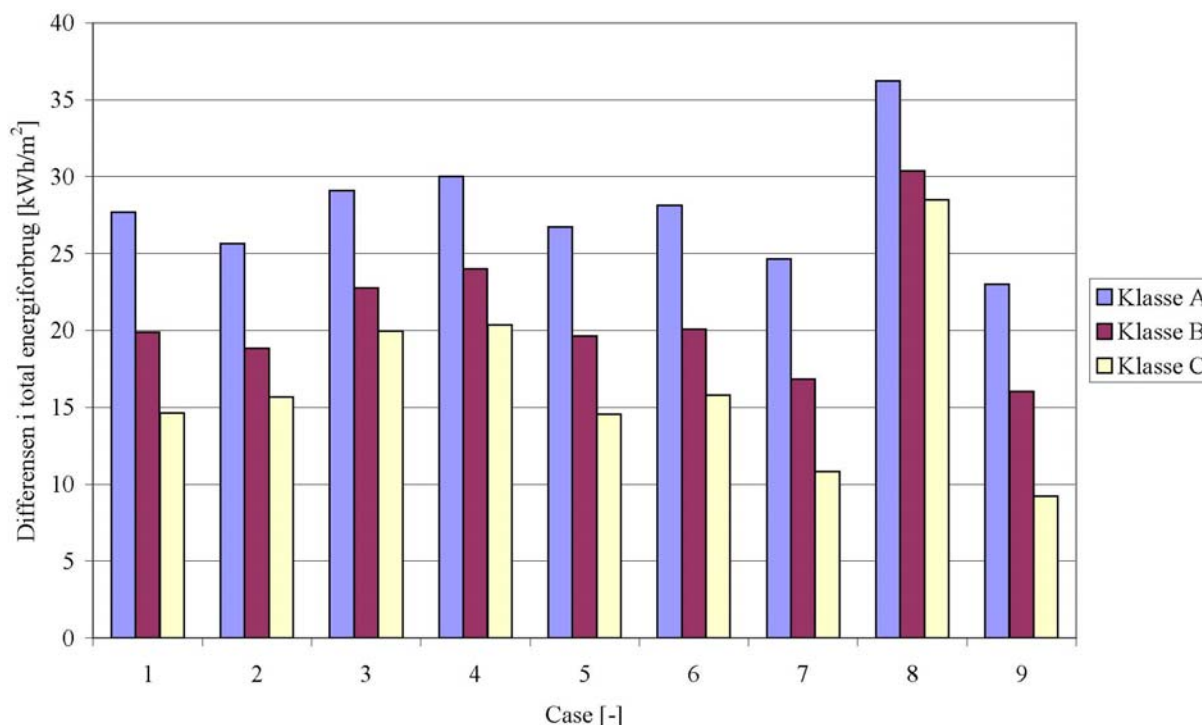
Figur 7-36: Total energiforbrug i forhold til antal timer i % i brugstiden over de vejledende temperaturer 26 °C og 27 °C jævnfør [DS 474, 1994] for BETA-bygningen.

8 Diskussion

Ud fra beregningen af bygningens forventede termiske og atmosfæriske indeklimate 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 indeklimate, 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 indeklimate 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 besparelspotentialer 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 besparelspotentialer 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 besparelspotentiale. 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.⁵ 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 besparelspotentialet ved at opføre Københavns Energi som en ALFA-bygning kunne forventes at ligge i intervallet 23 - 30 kWh/m², 16 - 24 kWh/m² og 9 - 20 kWh/m² 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.

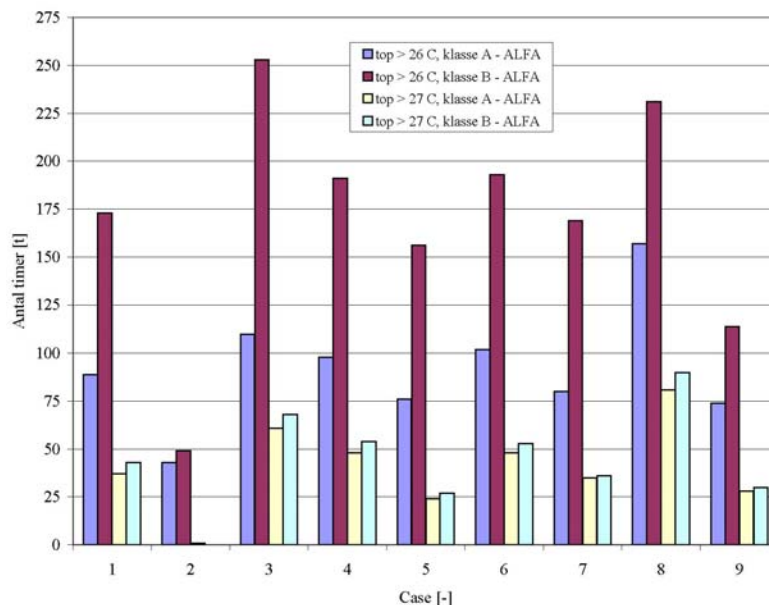
⁵ Det bemærkes, at elforbruget i rapporten ikke er multipliceret med faktoren 2,5. Ligeledes er der heller ikke taget hensyn til COP-værdien ved bestemmelse af det forventede energiforbrug til mekanisk køling. Ved et køleanlæg med eksempelvis en COP-værdi på 3 bruges der 1 kWh elektrisk energi til at 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.

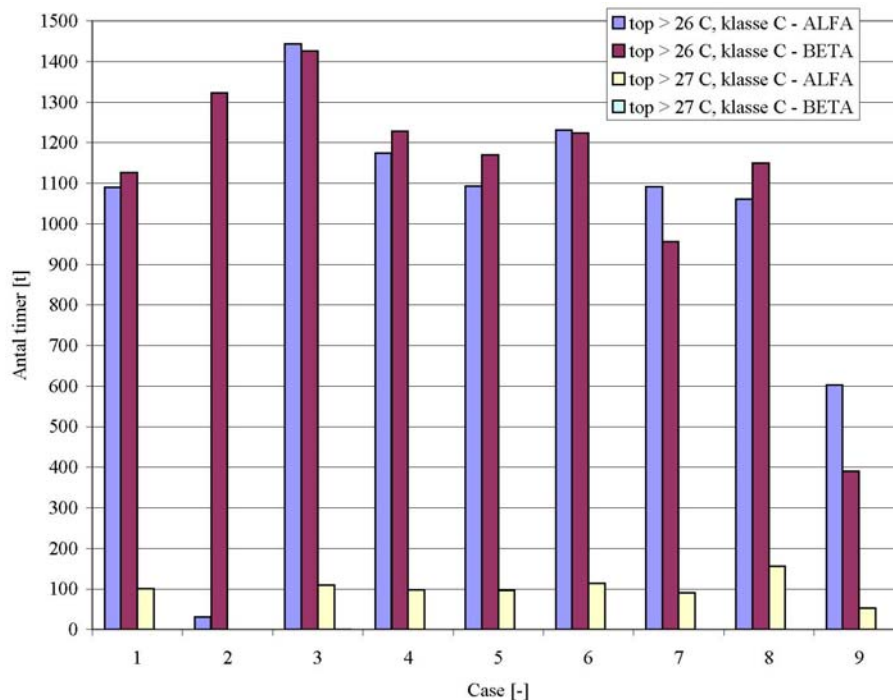
Effekten af at undlade lysregulering i forhold til kontinuert lysregulering er forventelig. Resultaterne er dog blevet forstærket, da der ved opsætning af modellerne er anvendt en varmeafgivelse på 15 W/m^2 , 10 W/m^2 og $7,5 \text{ W/m}^2$ for henholdsvis ingen, moderat og betydelig lysregulering. Det 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 sol-afskærmningens effektivitet ved den aktuelle parametervariation.

8.2 Termisk indeklima

I [DS 474, 1994] er det angivet, at antallet af timer over 26°C og 27°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°C og 27°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°C og 27°C . Dette skyldes, at setpunktet for køling om sommeren/vinteren er henholdsvis $25,5^\circ\text{C} / 23^\circ\text{C}$ og $26^\circ\text{C} / 24^\circ\text{C}$ for forventningsklasse A og B. På Figur 8-3 er antallet af timer, hvor den operative temperatur antager en større værdi end 26°C og 27°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°C og 27°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.

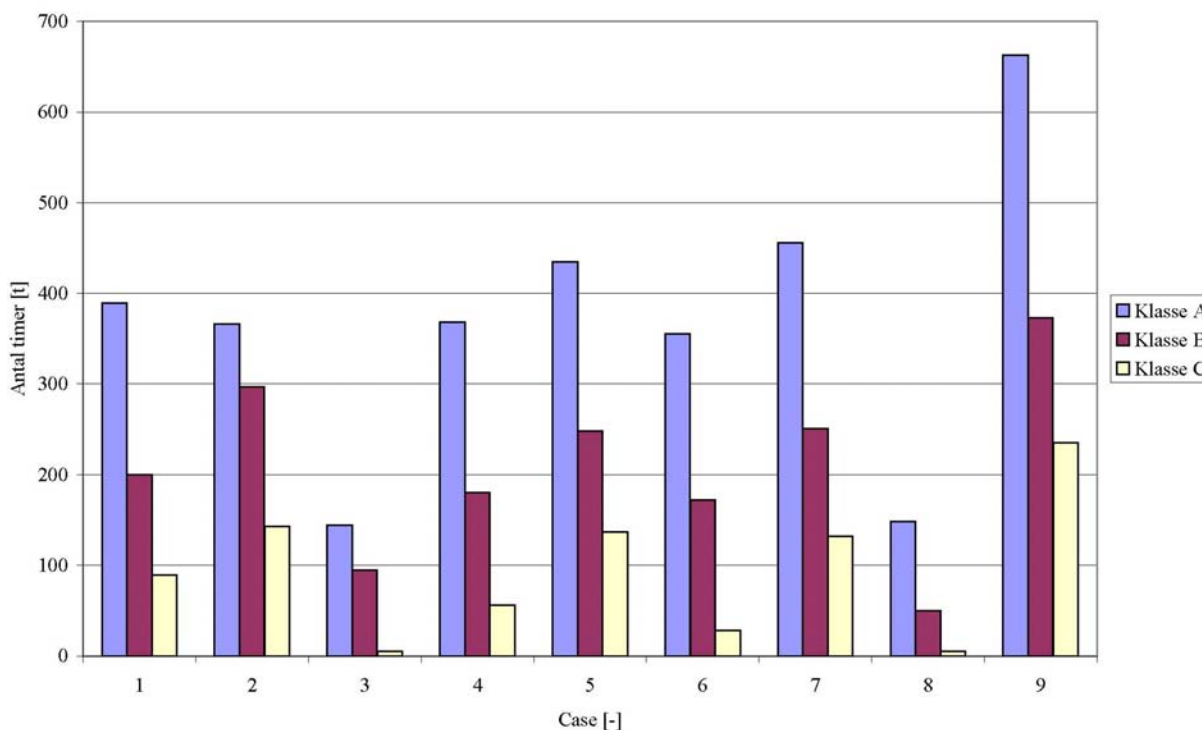
Uden lysregulering øges hyppigheden af antal af timer, hvor den operative temperatur overskrider 26 °C og 27 °C for alle tre forventningsklasser med forringet termisk komfort til følge. Jo mere effektiv

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 bygningmasse 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 CO₂ koncentrationen i indeluften er for forventningsklasse A, B og C henholdsvis 810 ppm, 1010 ppm og 1540 ppm jævnfør [CR 1752, 1998] ved en CO₂ koncentration i udeluften på 350 ppm. Figur 8-4 viser antallet af timer for ALFA-bygningen, hvor CO₂ 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 CO₂ koncentrationen overskrides for henholdsvis forventningsklasse A, B og C. For et mere detaljeret indblik i fordelingen af CO₂ 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 CO₂ 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.

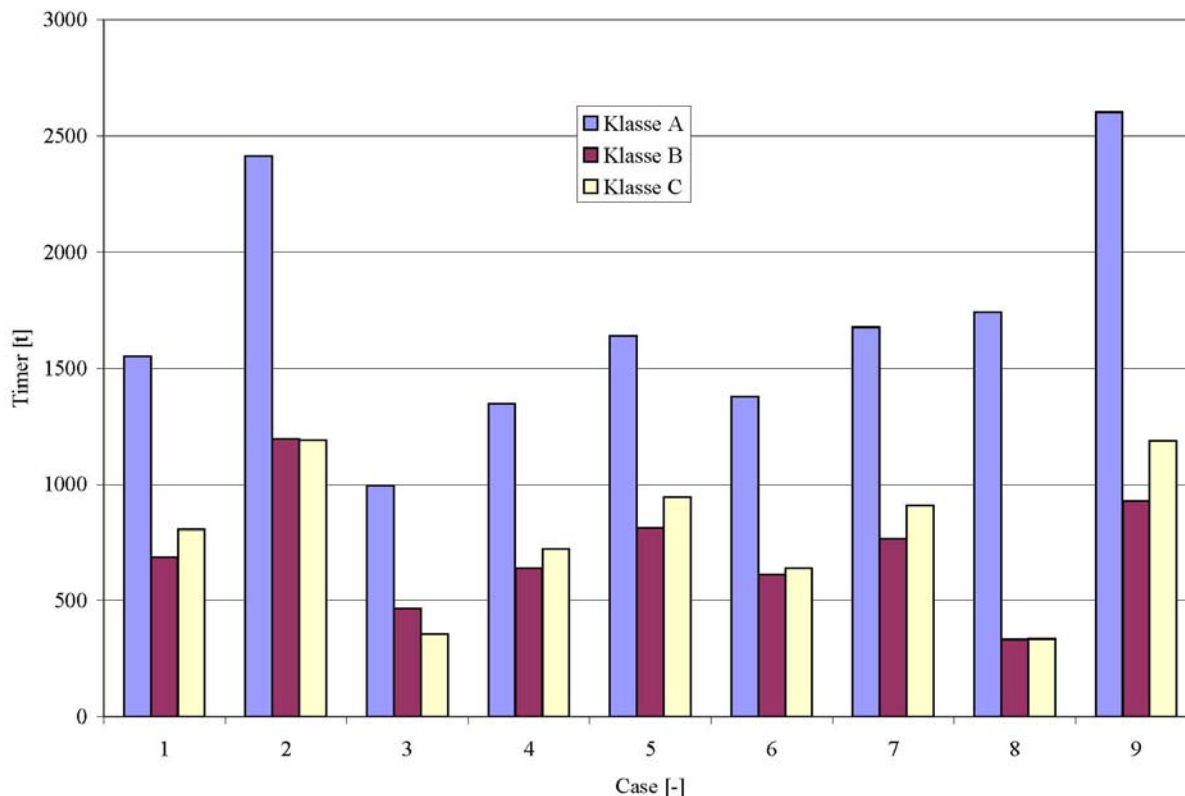
Den forventede CO₂ koncentration i indeluften er lavest, når den termiske masse reduceres. Dette skyldes, at den operative temperatur antager en højere værdi for en let bygning, da der ikke kan oplagres den sammen mængde energi som for en tung bygning. Hermed indtræffer behovet for udluftning som følge af for høj operativ temperatur og ikke pga. for høj CO₂ 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 CO₂ koncentrationen i indeluften, som er bestemmende for udluftningsbehovet. For varmesæsonen opnås da også tilnærmelsesvis samme atmosfæriske indeklima med en reducering eller forøgelse af den termiske masse.

Solafskærmningens indflydelse på CO₂ 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 CO₂ koncentrationen i indeluften.

Tilnærmelsesvis samme tendens identificeres for variationen af den interne belastning og graden af lysstyring. CO₂ 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⁻¹, 0,65 h⁻¹ og 0,36 h⁻¹ 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 CO₂ koncentration i indeluften, vil det forventede atmosfæriske indeklimate 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 indeklimate primært for de nederste etager.

8.4 Energiforbrug vs. komfortniveau

Omkostningerne til indeklimate 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 indeklimate jævnfør Tabel 4-2.

Besparingspotentialiet ved at gå fra en BETA-bygning til en ALFA-bygning for nærværende case ligger i intervallet 23 - 30 kWh/m², 16 - 24 kWh/m² og 9 - 20 kWh/m² om året for henholdsvis forventningsklasse A, B og C, hvorved den opstillede hypotese om et besparelspotentiale på omtrent 15 kWh/m² virker sandsynlig. Det store besparingspotentiale 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 besparingspotentialiet 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.

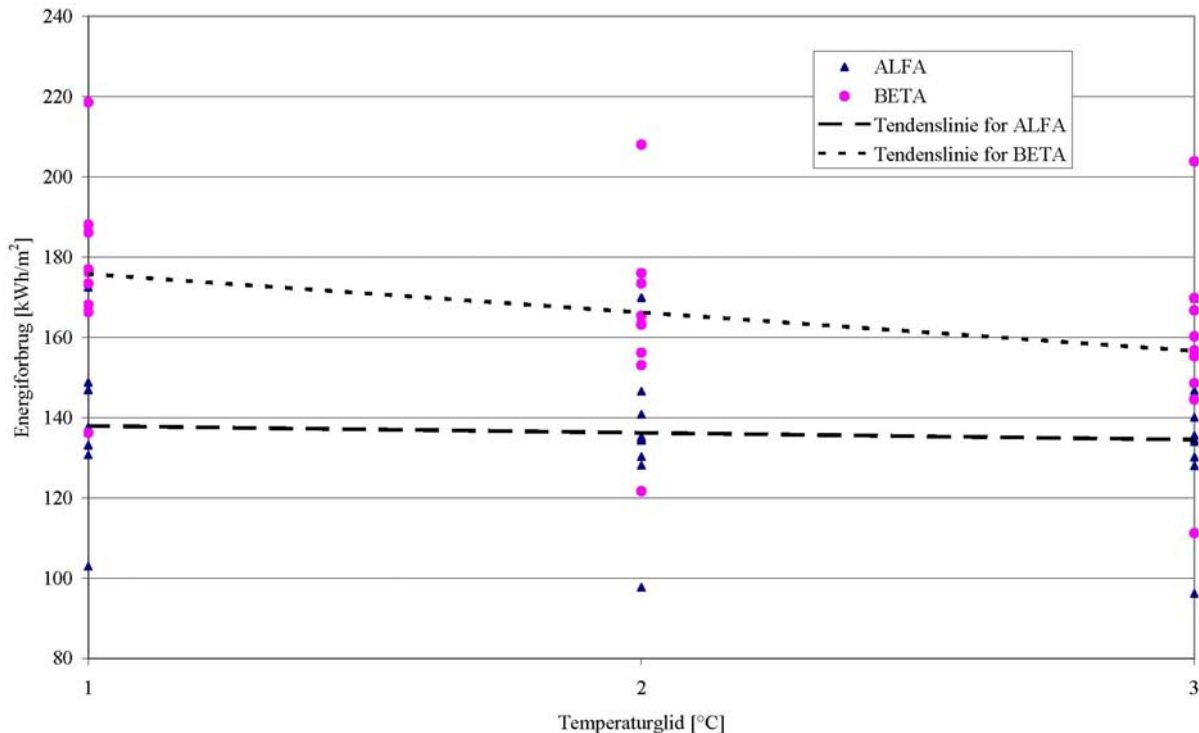
Ved sammenligning af bygningstype skal energiforbruget også holdes op mod komforten her repræsenteret ved antallet af timer, hvor den operative temperatur overskrider henholdsvis 26 °C og 27 °C. Som det kan ses ud fra Figur 7-35, falder det totale energiforbrug for ALFA-bygningen i afhængighed af forventningsklasse, hvilket skyldes opvarmingssetpunktet 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

ϕ_{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

varmebehov, 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

energiforbruget til køling har en relativ høj følsomhed over for en ændring af bygningsmassen (især klasse B) samt sol-afskærmningens 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ koncentrationen i indeluften for at opnå både termisk

og atmosfærisk komfort. Dertil kunne der overvejes et hybridsystem, 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 CO₂ 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 blanding 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/m² og 166 kWh/m² for henholdsvis året 2006 og 2007. Heraf er der for året 2006 anvendt 102 kWh/m² og 40 kWh/m² på henholdsvis el- og varmemeforbrug, hvor det for året 2007 er anvendt 107 kWh/m² og 60 kWh/m² på henholdsvis el- og varmemeforbrug. 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 CO₂-koncentrationen var langt under arbejdstilsynets krav på 1000 ppm, hvor den målte CO₂-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 indeklima er opnået, hvormed der simuleres et lavere energiforbrug til opvarmning, men også højere CO₂-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 varmemeforbrug er højere, og CO₂-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 indeklima. 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/m² for ALFA-bygningen og ca. 60 kWh/m² 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 CO₂-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/m² 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/m², 16 - 24 kWh/m² og 9 - 20 kWh/m² om året for henholdsvis forventningsklasse A, B og C. Ved to af casene – under forventningsklasse C - opnås kun et besparingspotentiale på 11 kWh/m² og 9 kWh/m², 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 indeklima må en højere grad af diskomfort for ALFA-bygningen forventes periodevis som følge af for høj CO₂ 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 indeklima.

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 indeklima. Der er dog behov for yderligere undersøgelser af flere bygninger for at belyse potentialet mere bredt. Endvidere er der behov for en form for vægtning af energiforbruget i forhold til indeklimaet, hvis bygningens *samlede* ydeevne skal optimeres⁶. 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

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

building performance with respect to thermal indoor climate. *Energy and Buildings*, 38:8-17.

[Olsen et al., 2002]:

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, sidst set d. 7. september 2008

[Stampe et al., 1997]:

Ole B. Stampe, P. Kjerulf-Jensen, H. E. Hansen, *Varme- og climateknik – 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 climateknik 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

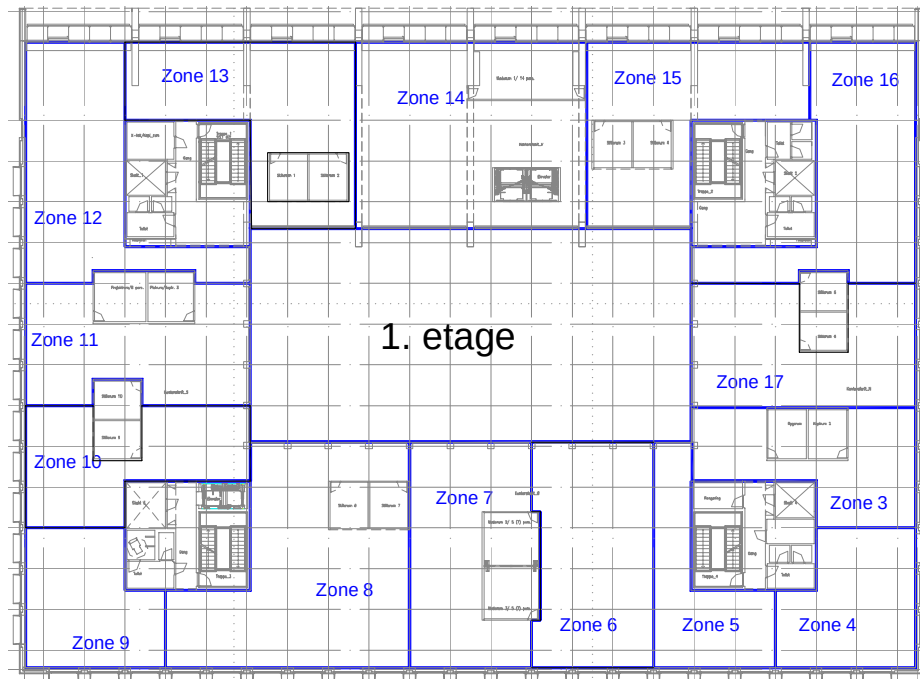
Indholdsfortegnelse for Bilag

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

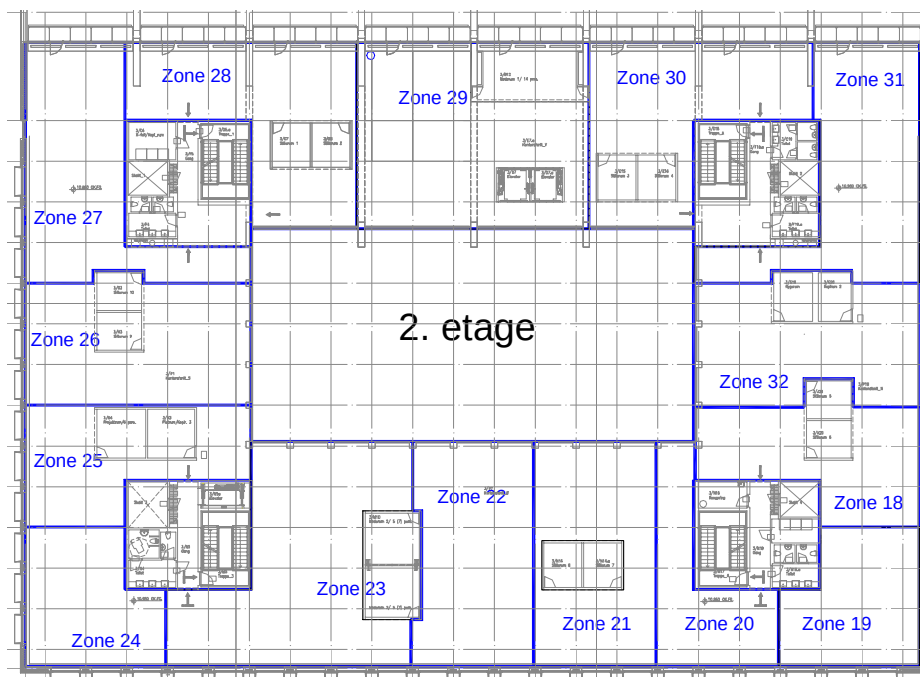
I det følgende bilag kan plantegninger af bygningens 1-4. sal samt tvær- og længdesnit ses.

Ørestads Boulevard

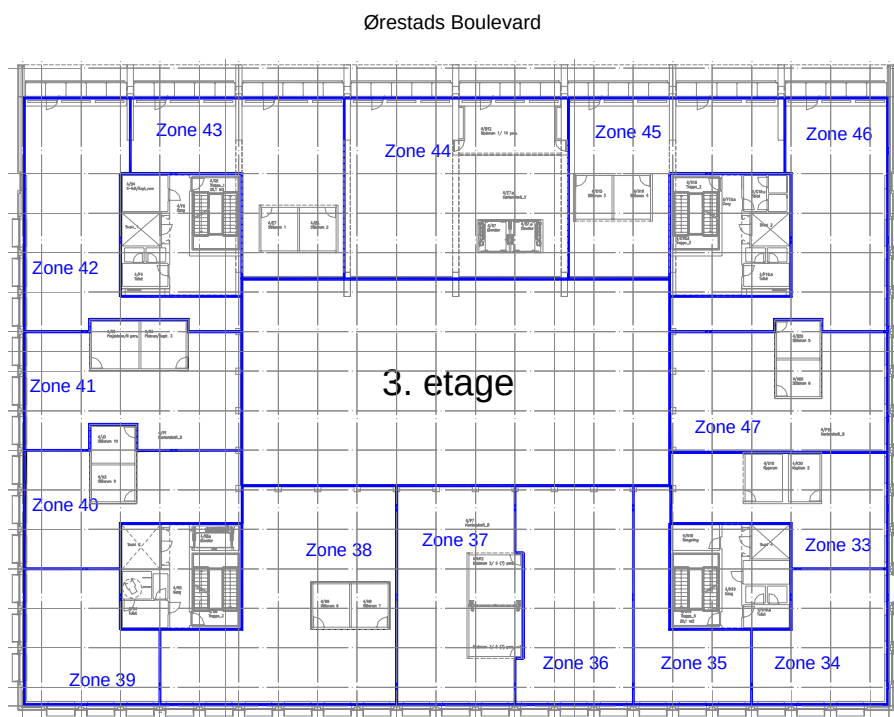


Figur 1: Plantegning af bygningens 1. sal, Ørestads Boulevard lokaliseret mod vest.

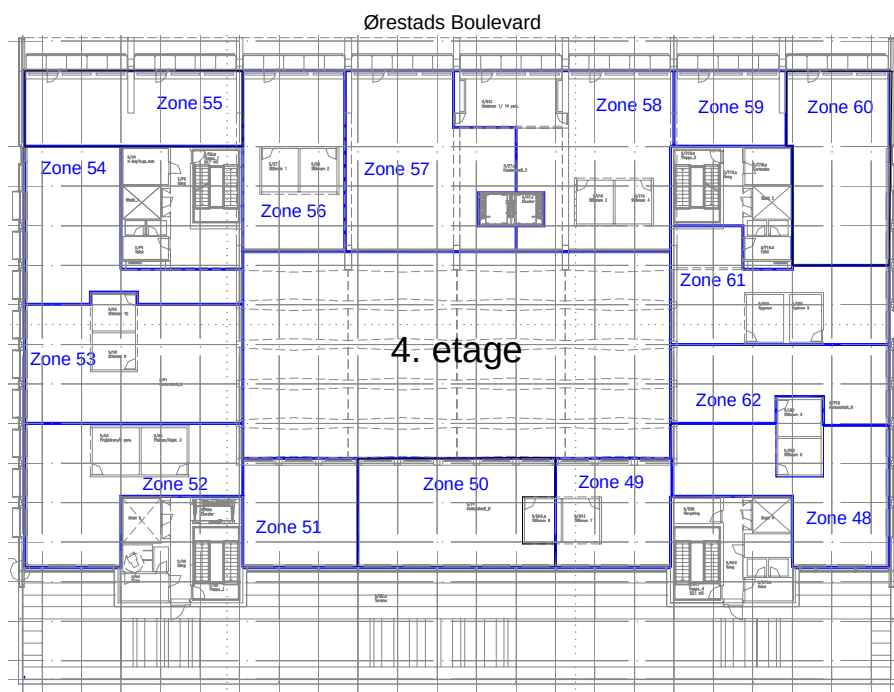
Ørestads Boulevard



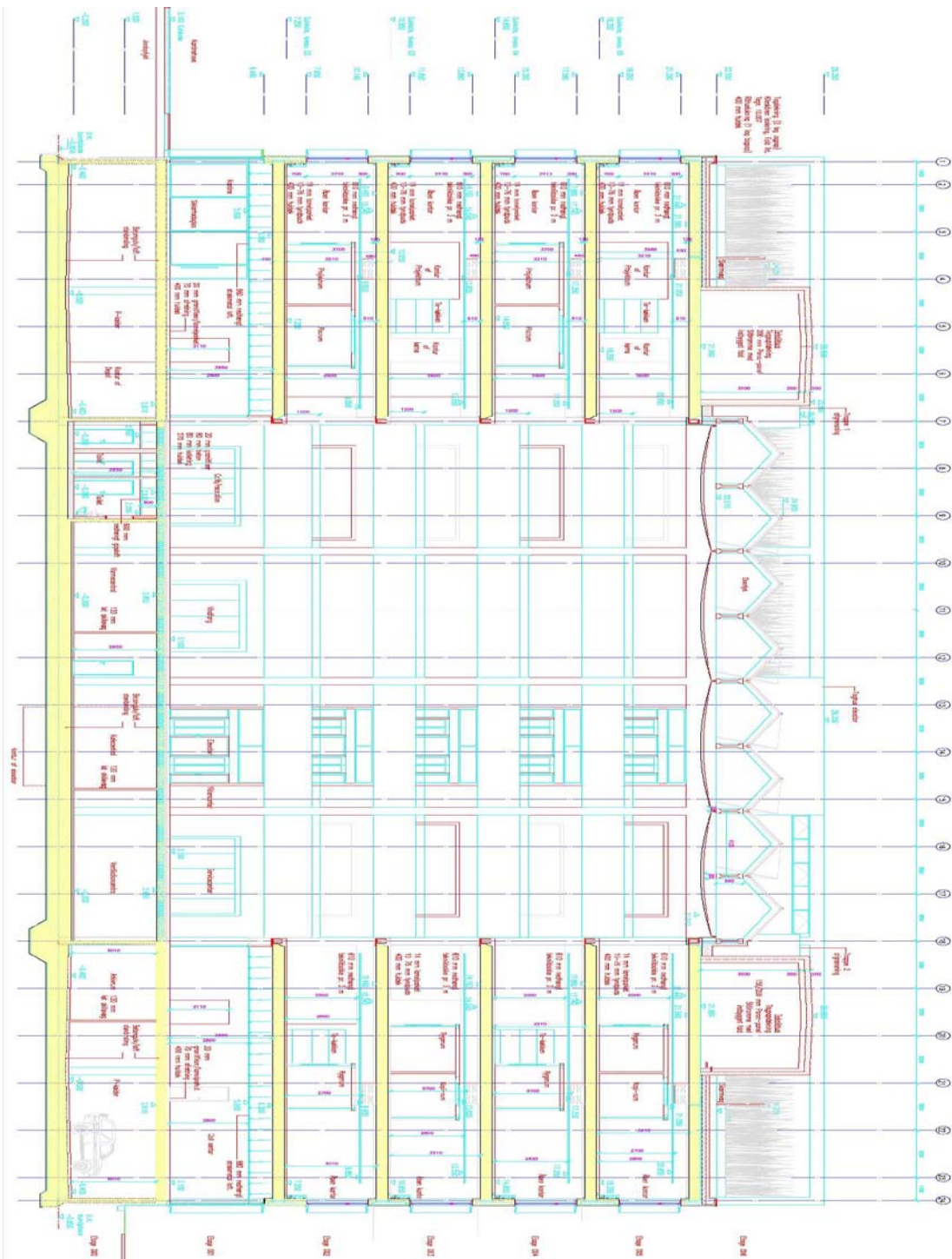
Figur 2: Plantegning af bygningens 2. sal, Ørestads Boulevard lokaliseret mod vest.



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



[illegible]



Figur 6: Længdesnit af bygningen hvori Københavns Energis domicil er lokaliseret.

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 [m²]

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 ²]	Varmekapacitet [J/kgK]	$A_i \cdot c_i$ [Jm ² /kgK]
Skille væg (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 m² arkivplads per person som møblement, hvilket samlet svarer til omtrent 53 m² 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 ²]	Varmekapacitet [J/kgK]	$A_i \cdot c_i$ [Jm ² /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 ± 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 ²]	Varmekapacitet [J/kgK]	$A_i \cdot c_i$ [Jm ² /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 ²]	Varmekapacitet [J/kgK]	$A_i \cdot c_i$ [Jm ² /kgK]
Skillevej (4stk)	Fiberplade	51	350	17.850
Vægge mod trappekasse	Fiberplade	49	350	17.305
Atrievej	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 jævnfør [CR 1752, 1998], hvor den øvre grænse værdi for CO₂ koncentrationen i indeluften tillades at være henholdsvis 810 ppm, 1010 ppm og 1540 ppm ved en CO₂ 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 [m³]

c er øvre grænseværdi for CO₂ koncentration [ppm]

c_i er CO₂ koncentration i udeluften [ppm]

I projektet anvendes en CO₂ koncentration i udeluften, c_i , på 350 ppm.

Med et volumen af rummet på omtrent 534 m³ er det nødvendige luftskifte i afhængighed af forventningsklasse opsummeret i

	Personer [stk]	c [ppm]	q [m ³ /h]	n [h ⁻¹]
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 tilladelige CO₂ koncentration i indeluften i afhængighed af forventningsklasse A, B og C jævnfør [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 ² , 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	Grundluftskifte 0,13 l/s m ² i brugstiden og 0,09 l/s m ² 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 ² Almen belysning 10W/m ² , 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	Basisluftskifte 0,65h ⁻¹ TmpFactor 1,83	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
	TmpPower 0,5	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
	WindFactor 0,2 Max. AirChange 5	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

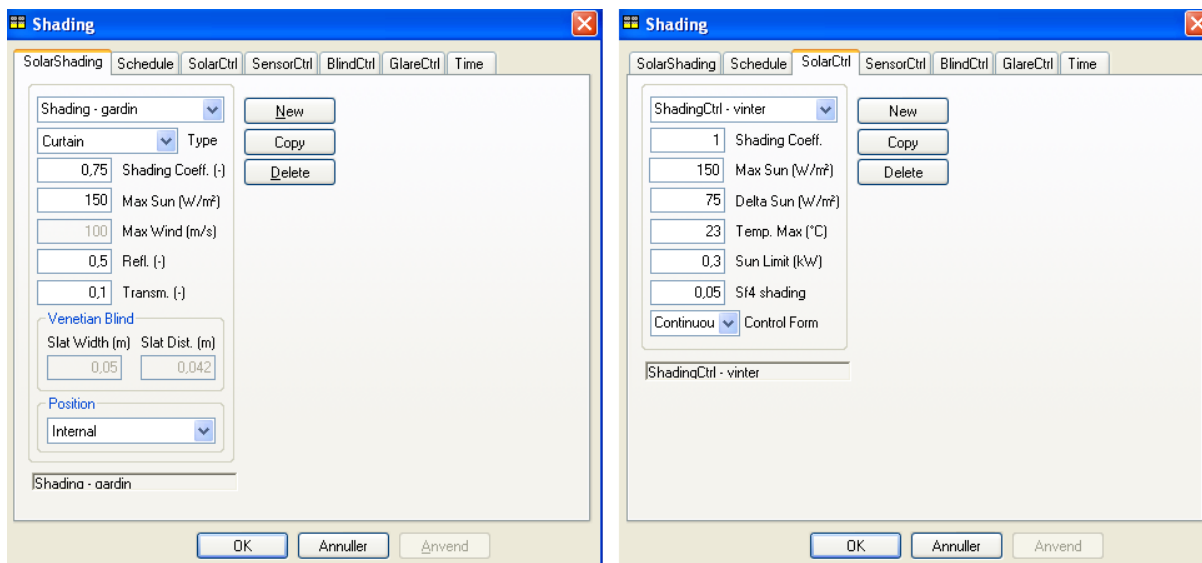
Som tidligere nævnt anvendes der tre grader af solafskærmning, ingen, moderat og betydelig. Moderat solafskærmning etableres med indvendig lyst tæt vævet gardin med en afskærmningsfaktor på 0,75, hvor der for betydelig solafskærmning anvendes udvendig persienner på 60° svarende til en afskærmningsfaktor 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 ² 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

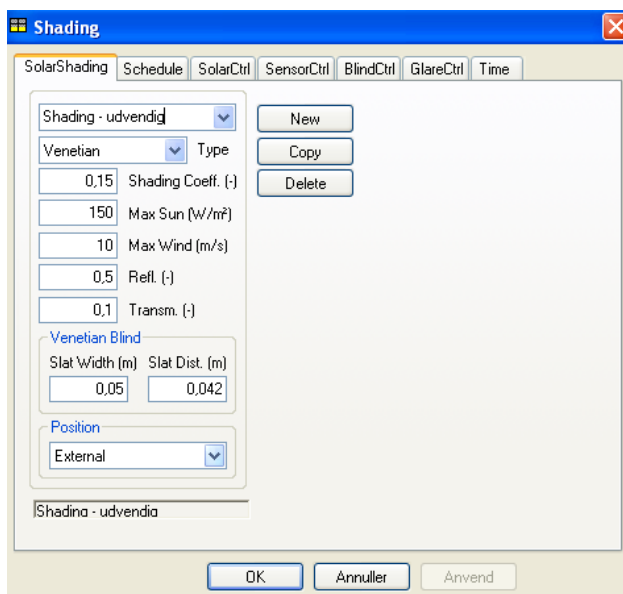
Tabel 7: Beskrivelse af systemopsætningen solafskærmning.

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.

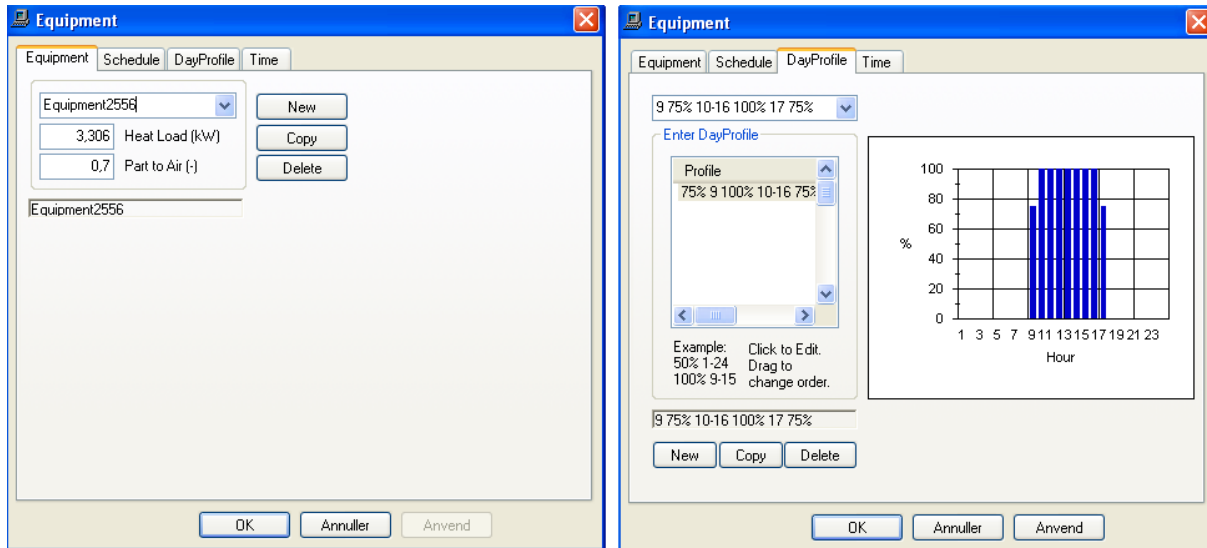


Figur 8: Opsætning af betydelig solafskærmning for forventningsklasse A.

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.

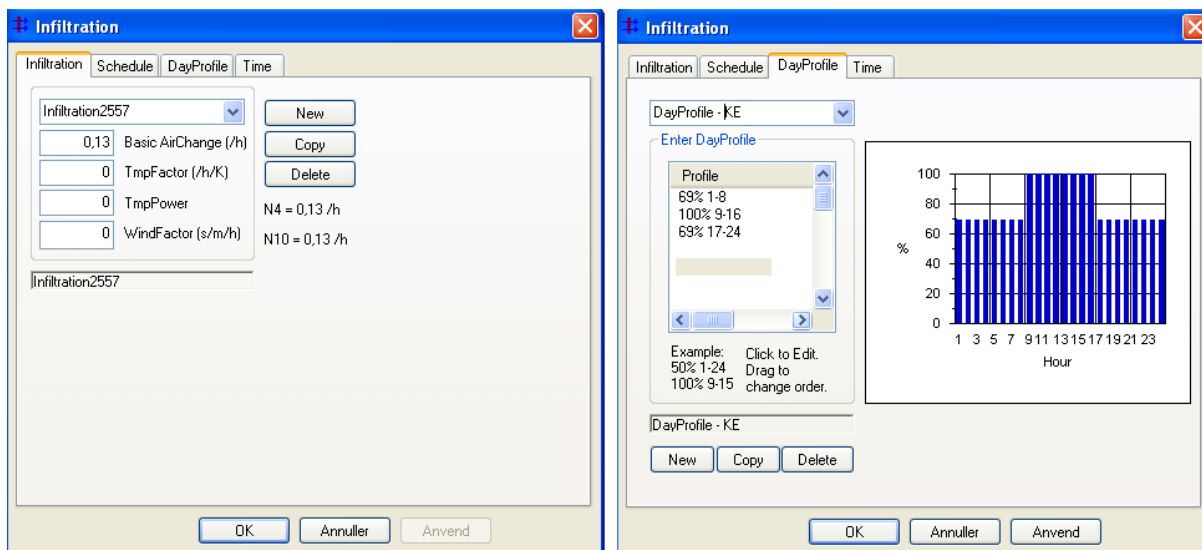


Figur 9: Opsætning af internt varmetilskud udgangspunkt fra kl. 8:00 til 17:00.

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 m^2 og et rumvolumen på 2039 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.

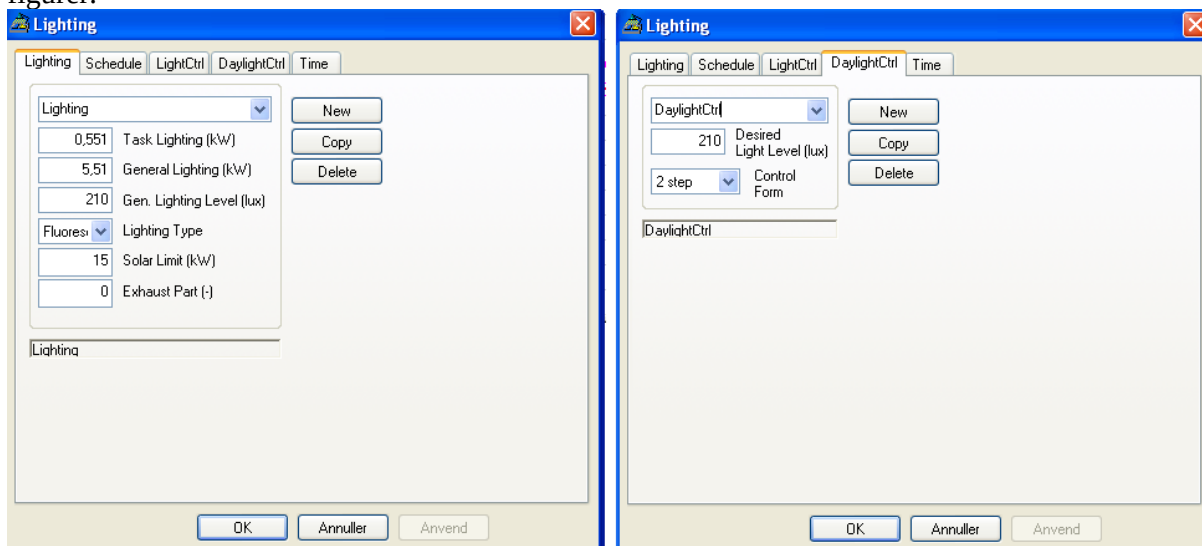


Figur 10: Illustration af infiltrationsopsætning.

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 551m² i afhængighed af lysreguleringstype. Der er tre reguleringsgrader af lysstyring: ingen, moderat og betydeligt hvor varmeafgivelsen henholdsvis er 15 W/m², 10 W/m² og 7,5 W/m². 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 °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 belysningen sættes til 30 %, 20 % og 10 % for henholdsvis ingen, moderat og kontinuert lysregulering ift. udgangspunktet, 15 10 og 7,5W/m², anvendt i normal arbejdstid. Ligeledes er belysning 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.

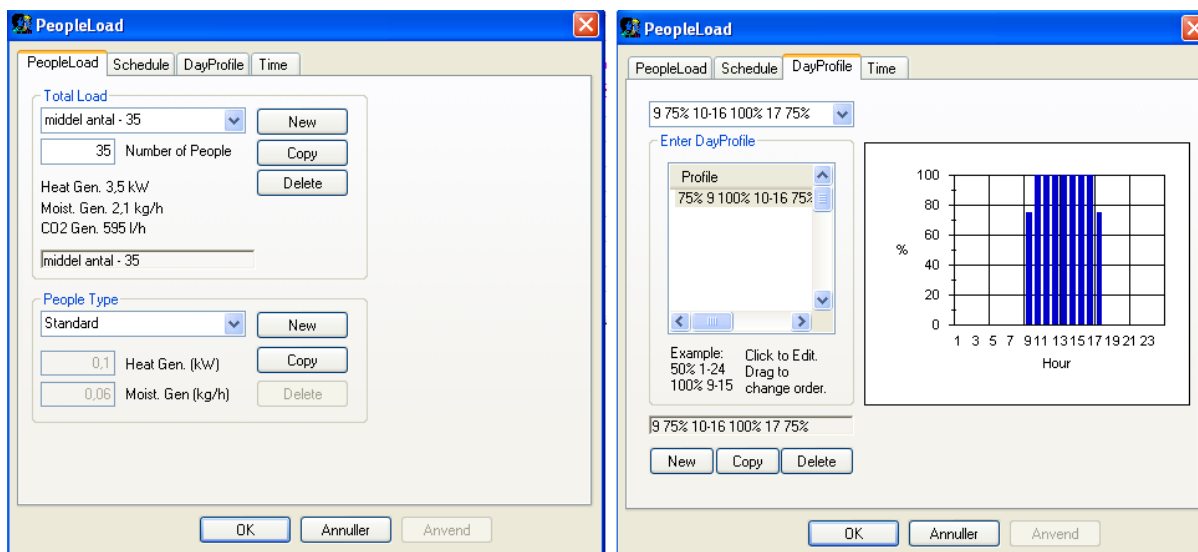
Det bemærkes, at det kun er almenlyset, der reguleres, mens særligt altid regnes tændt inden for de definerede tidsangivelser.

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.



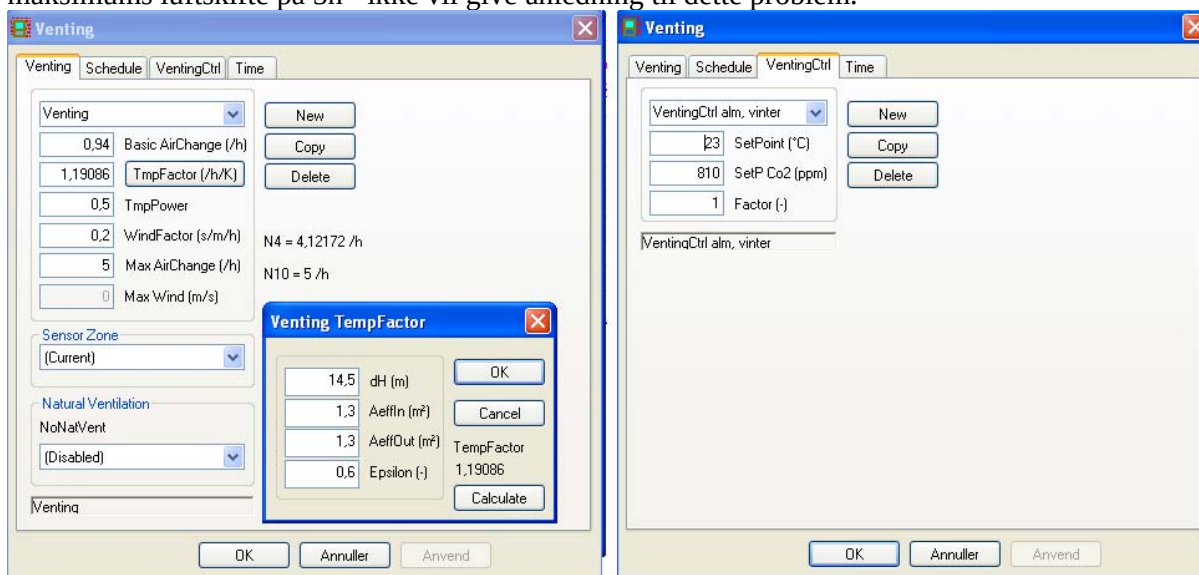
Figur 12: Opsætning af personer for en hverdag fra kl. 8 til 17.

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 basisluftsifte, 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 m². 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 m². 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 luftsiftet antager for stor størrelse for at undgå trækgener. Det vurderes at et maksimums luftsifte på 5 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 CO₂. 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 indeklime er opsummeret i Tabel 8.

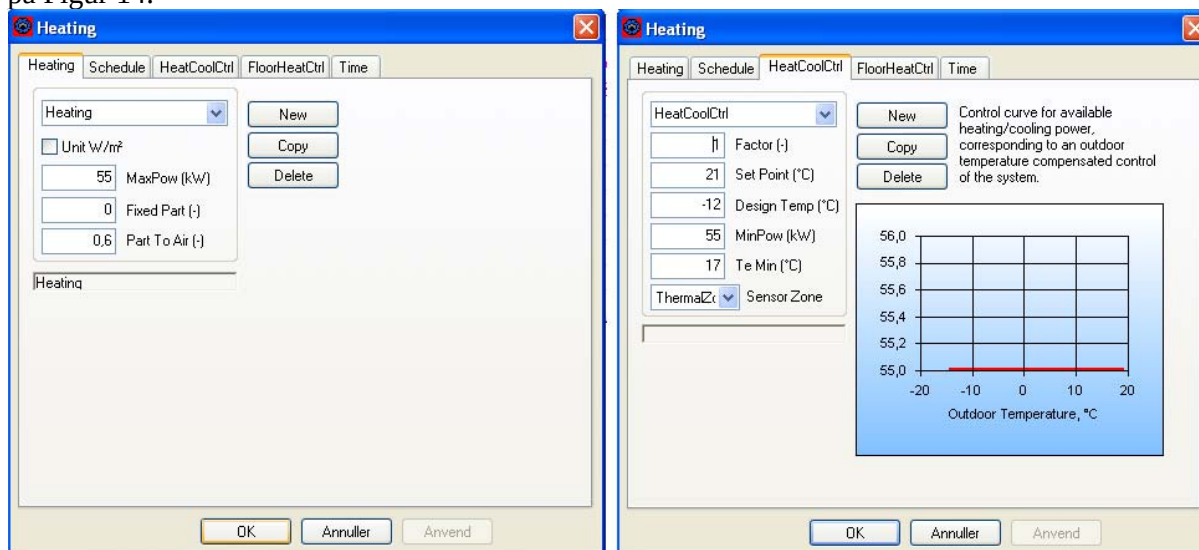
Periode		Klasse A		Klasse B		Klasse C	
Sommer	Tid	Temperatur [°C]	CO ₂ [ppm]	Temperatur [°C]	CO ₂ [ppm]	Temperatur [°C]	CO ₂ [ppm]
Alm. Arbejde	07:00 - 17:00	25,5	840	26,0	1010	27	1540
Overarbejde	17:00 - 24:00	25,5	840	26,0	1010	27	1540
Weekend arbejde	08:00 - 17:00	25,5	840	26,0	1010	27	1540
Natkøling	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 CO₂ 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 m³/s Pressure Rise 840 Pa Total Eff. 0,7 Part to Air 1,0 <u>Output</u> Return 0,43 m³/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
				1	17	40	23,5	24,5	Lørdage kl. 8 - 17
			Vinter	0,1	17	40	21	22	Hverdage kl. 17 -24
				1	17	40	21	22	Lørdage kl. 8 - 17
		B	Sommer	0,1	17	40	23	25	Hverdage kl. 17 -24
				1	17	40	23	25	Lørdage kl. 8 - 17
			Vinter	0,1	17	40	20	23	Hverdage kl. 17 -24
				1	17	40	20	23	Lørdage kl. 8 - 17
		C	Sommer	0,1	17	40	22	26	Hverdage kl. 17 -24
				1	17	40	22	26	Lørdage kl. 8 - 17
			Vinter	0,1	17	40	19	24	Hverdage kl. 17 -24
				1	17	40	19	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.

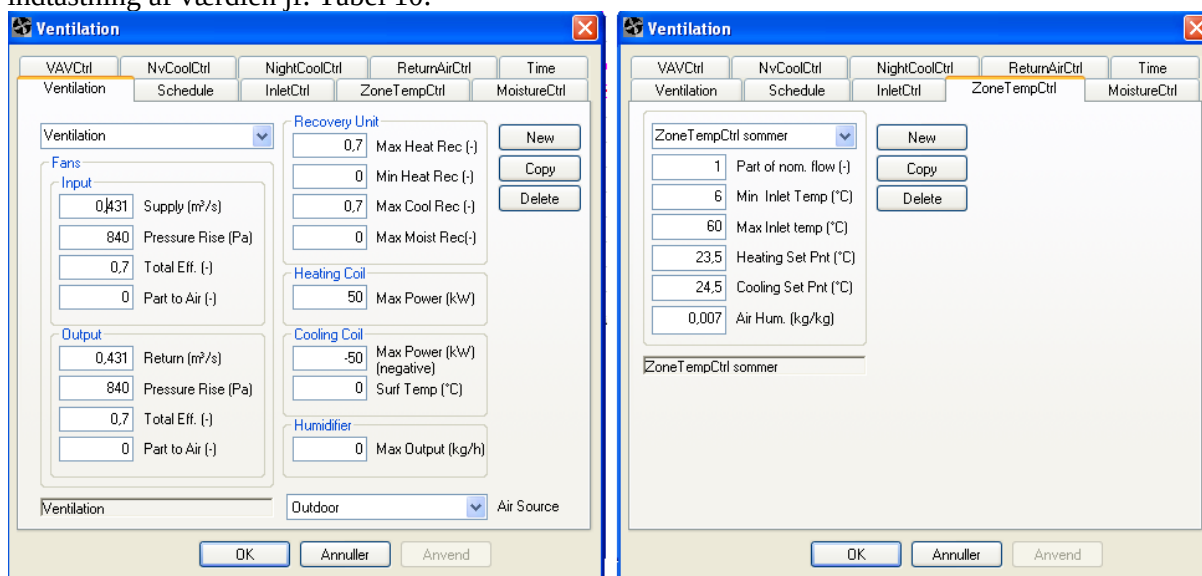
De to felter markeret med gråt i Tabel 10 er den nødvendige luftmængde for at opfylde kravet om atmosfærisk komfort og skal derfor ændres i afhængighed til forventningsklasse A, B eller C for simuleringerne. Den nødvendige luftmængde i afhængighed af forventningsklassen fremgår af Tabel 11.

	CO ₂			
	[h ⁻¹]	[m ³ /s]	[l/s person]	[l/s m ²]
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 CO₂ 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/m³ til lufttransport, da anlægget er med variable ydelse. Det antages, at der benyttes 1200 J/m³ 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.

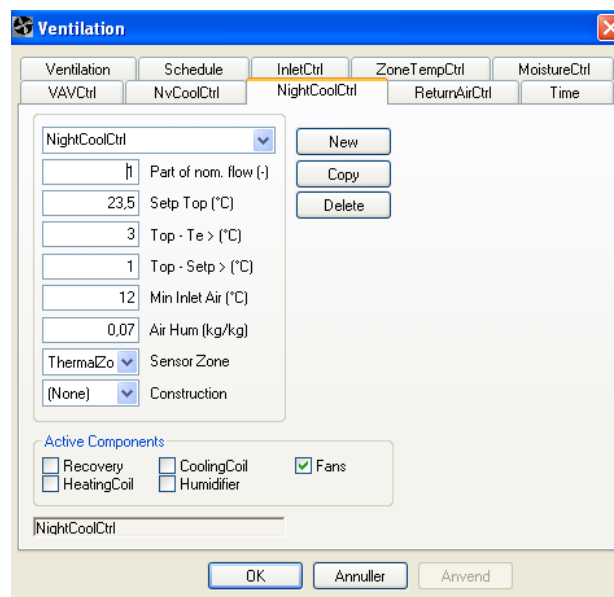
Til opsætning af natkøling anvendes de angivne setpunkter i Tabel 12 i henhold til den pågældende forventningsklasse.

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 temperaturforskel 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 ± 1 °C, $\pm 1,5$ °C og $\pm 2,5$ °C er tilladt for henholdsvis forventningsklasse A, B og C. Såfremt den mindste temperaturforskel mellem zonen og setpunkt er større end 2,5 °C vil natkølingen ikke aktiveres. Det vælges derfor at sætte den mindste temperaturforskel 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 temperaturforskel mellem zonen og setpunktet på 1 °C.

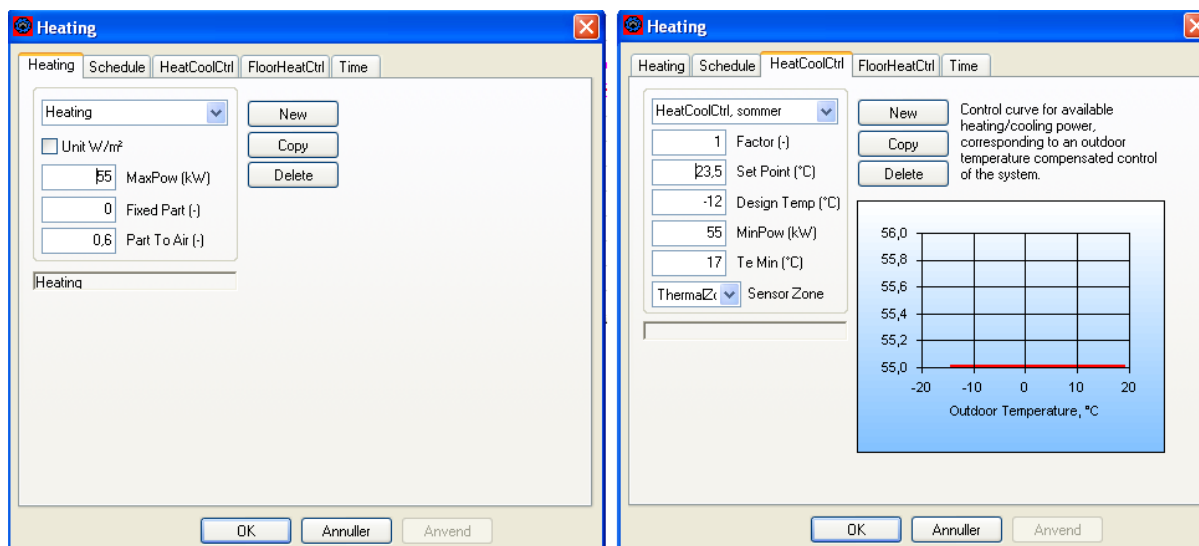
Opvarmning

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.

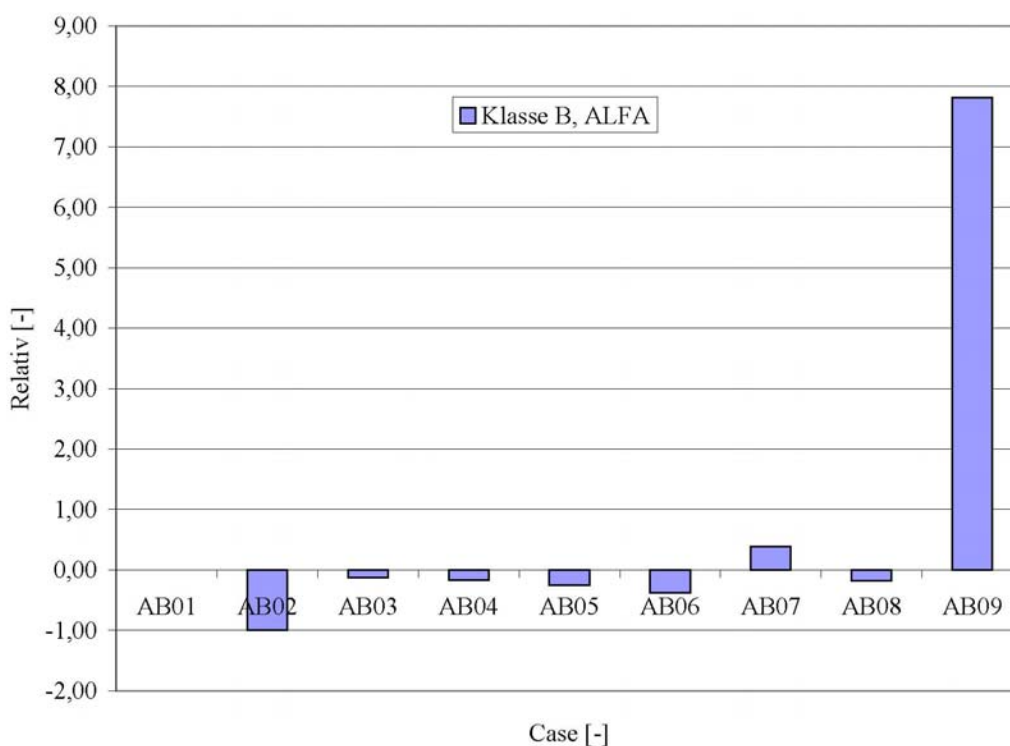


Figur 17: Opsætning af varmesystem for BETA bygning forventningsklasse A, sommer.

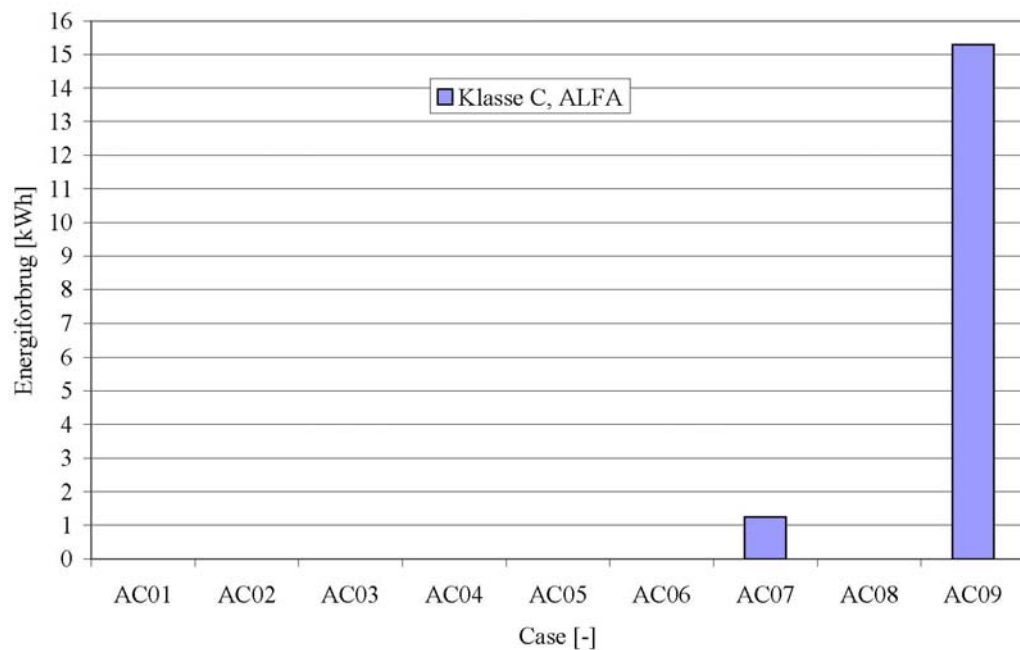
E. Energiforbrug

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.

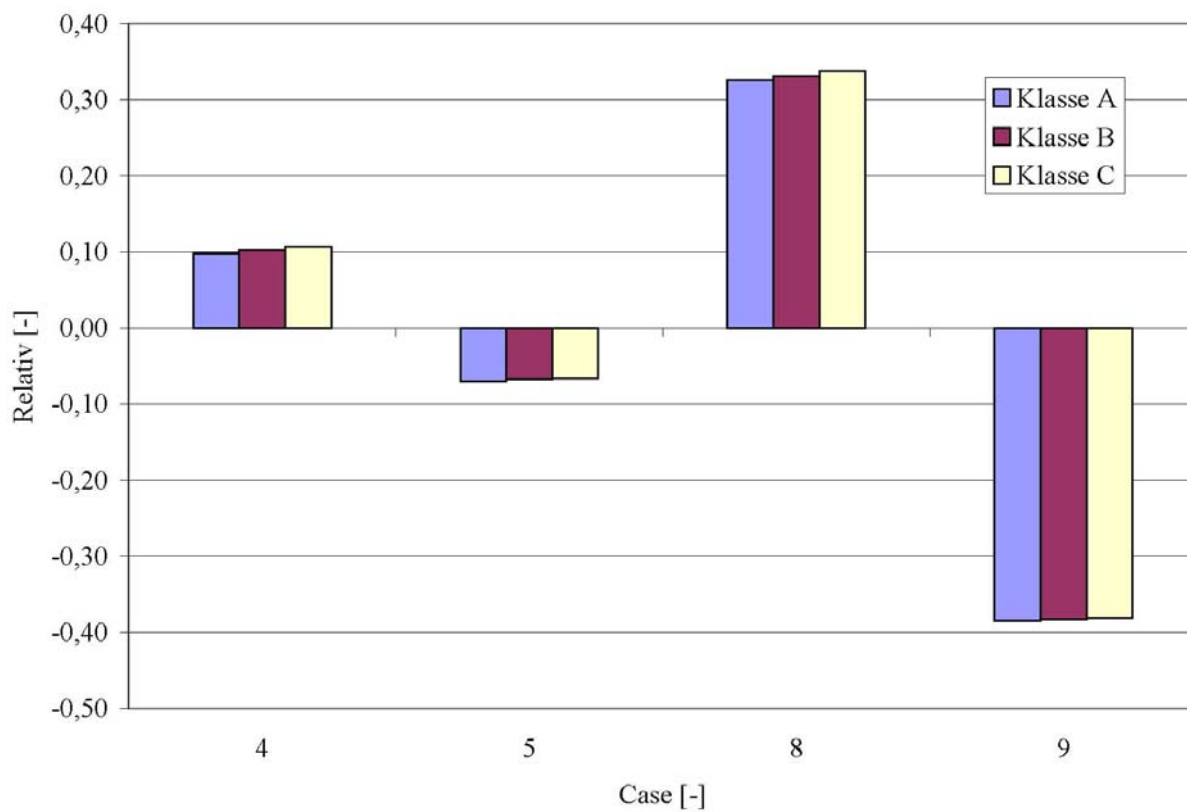
Figur 12: Relativ ændring af varmebehov ift. parametervariation for ALFA-bygning klasse B.
Figur 13: Energiforbrug til opvarmning for ALFA-bygning klasse C.
Figur 14: Relativ ændring af energiforbrug til belysning ift. parametervariation for BETA-bygningerne 4, 5, 8 og 9 klasse A, B og C.
Figur 15: Relativ ændring af varmeforbruget ift. parametervariation for BETA-bygning klasse B.
Figur 16: Relativ ændring af varmeforbruget ift. parametervariation for BETA-bygning klasse C.
Tabel 14: Oversigt over figurer vedrørende det forventede energiforbrug.



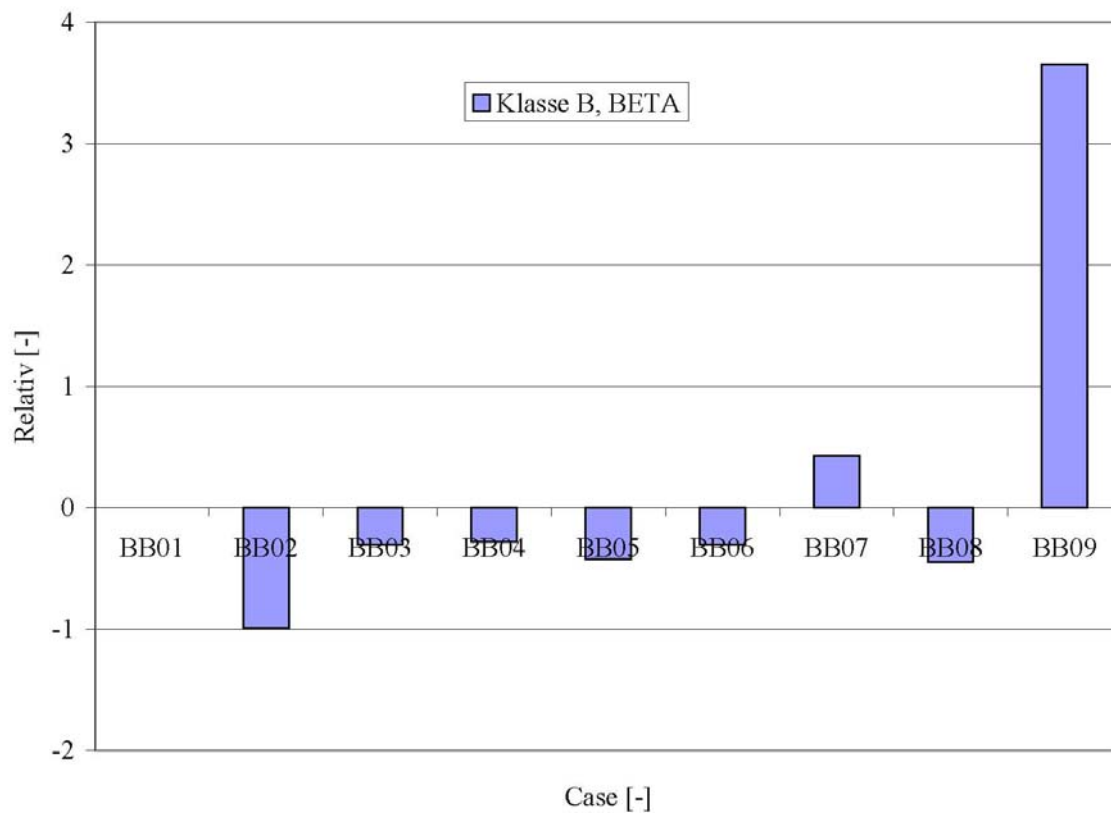
Figur 18: Relativ ændring af varmebehov ift. parametervariation for ALFA-bygning klasse B.



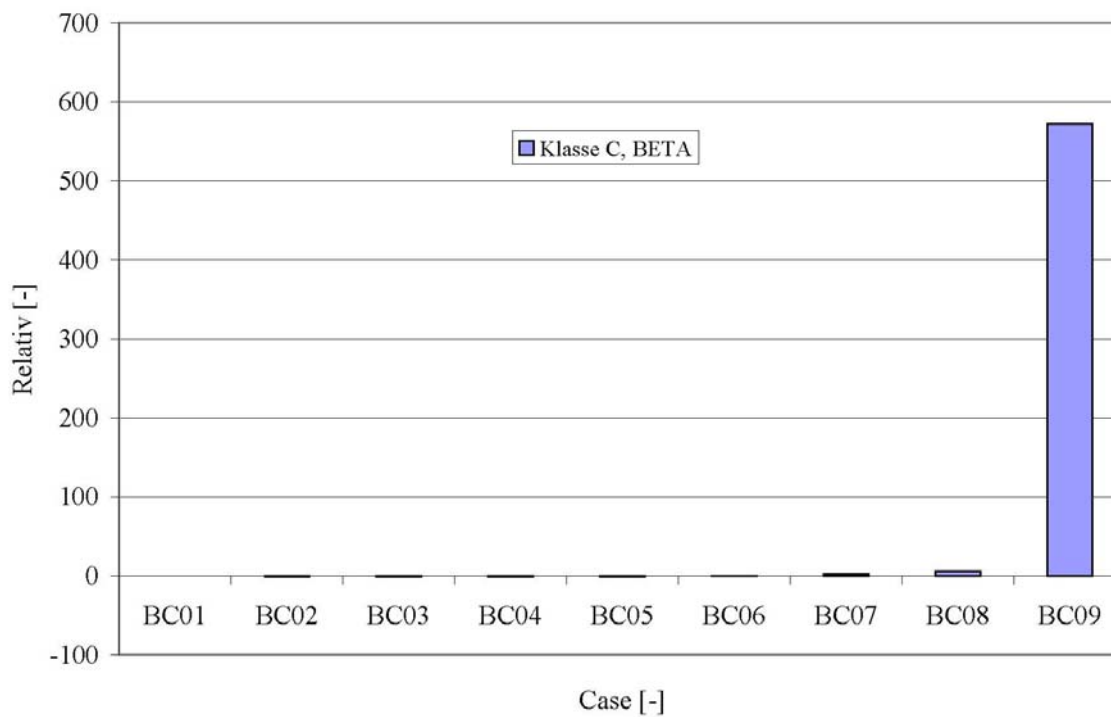
Figur 19: Energiforbrug til opvarmning for ALFA-bygning klasse C.



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 varmekonsumet ift. parametervariation for BETA-bygning klasse B.



Figur 22: Relativ ændring af varmekonsumet 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 20 °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.

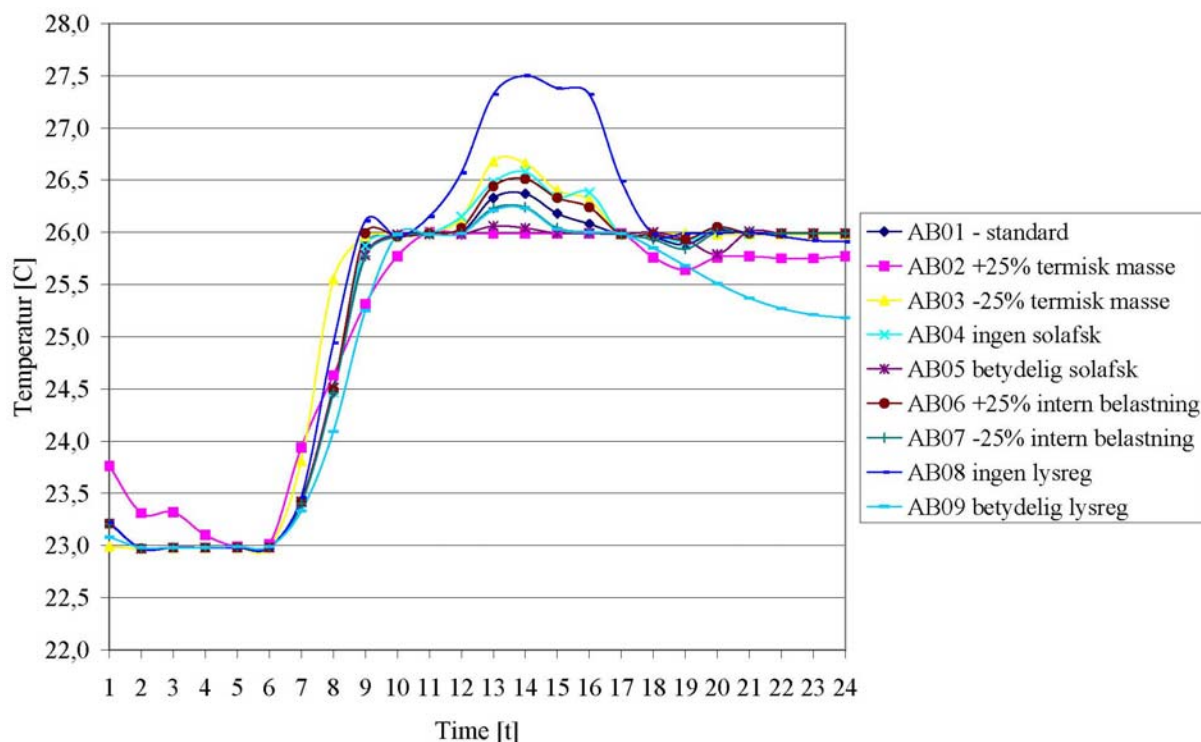
Tabel 15: Figuroversigt for det forventede termiske indeklima.

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

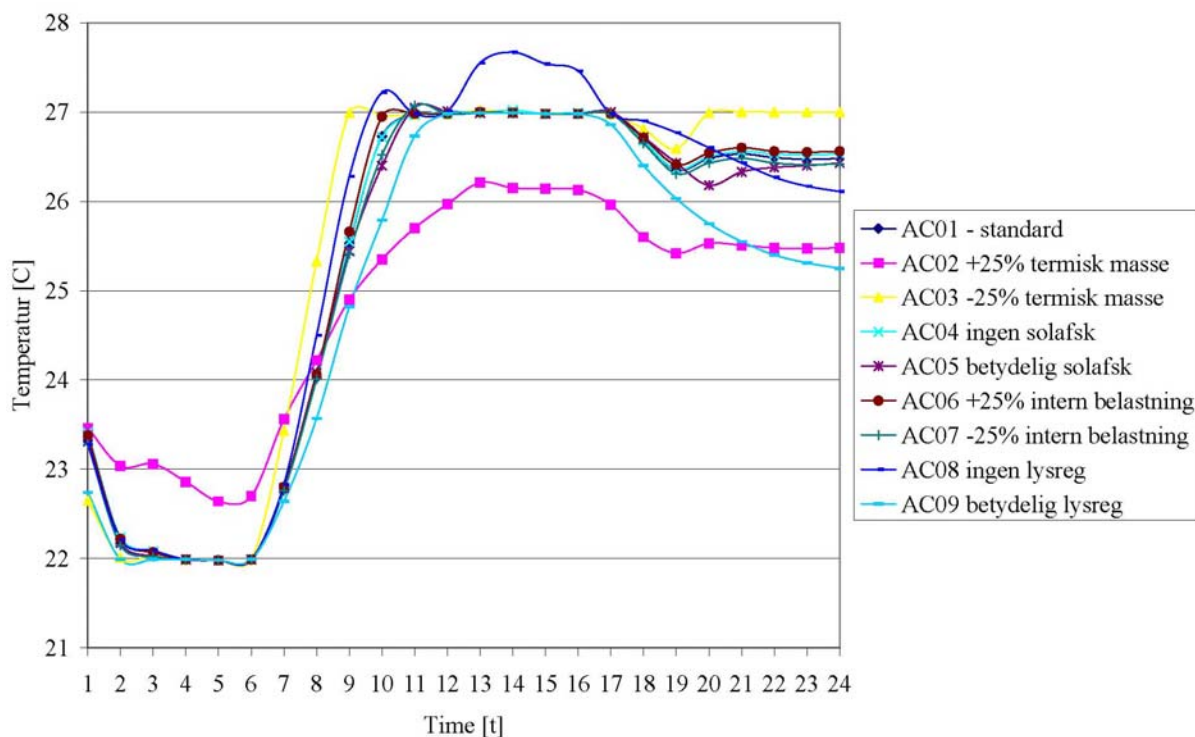
Tabel 16: Antal timer hvor den operative temperatur henholdsvis overskrider 26 °C og 27 °C.

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

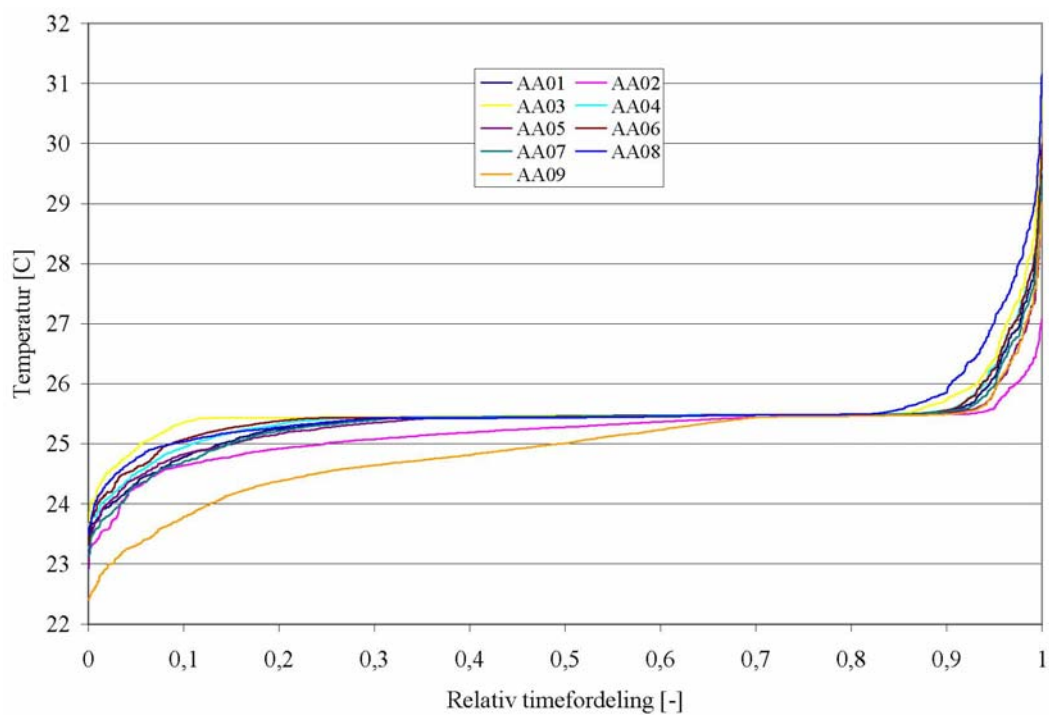
Tabel 17: Antal timer hvor den operative temperatur henholdsvis overskrider 26,2 °C og 27,2 °C.



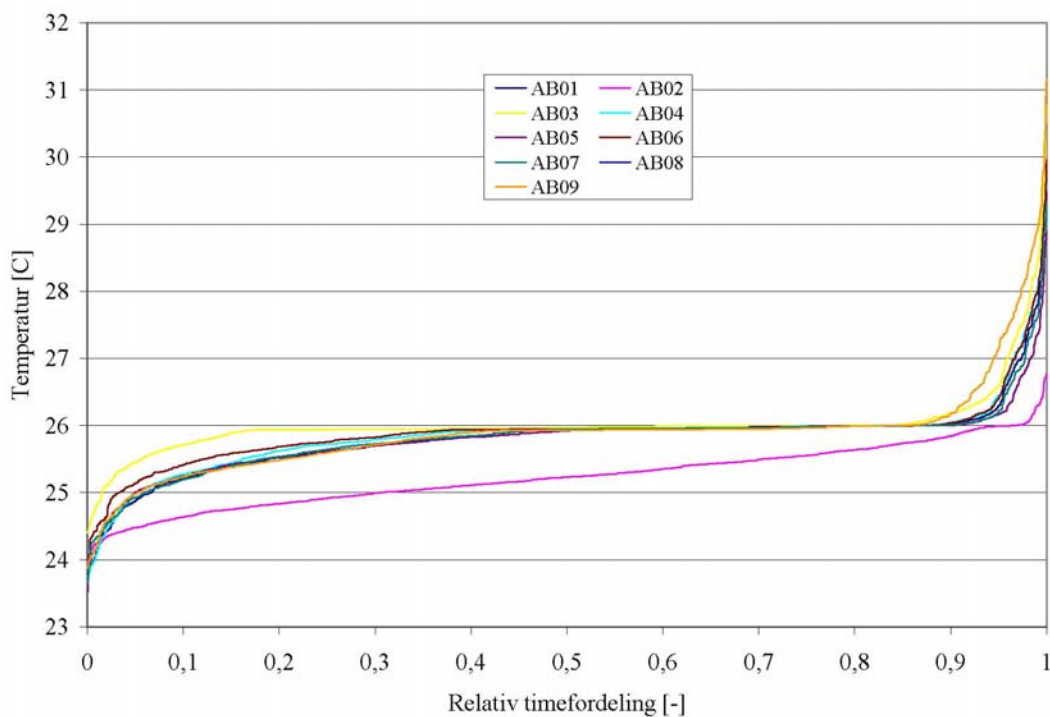
Figur 23: Temperaturprofil for d. 13. juli for forventningsklasse B, ALFA-bygning. Nedre og øvre operativ temperatur henholdsvis 23 °C og 26 °C.



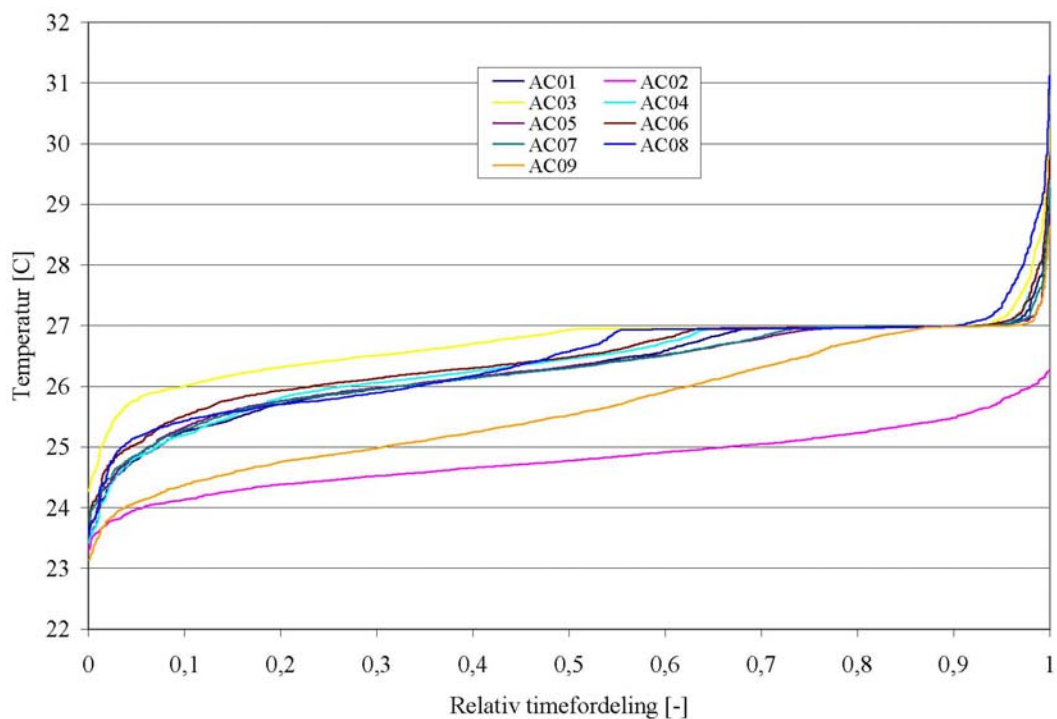
Figur 24: Temperaturprofil for d. 13. juli for forventningsklasse C, ALFA-bygning. Nedre og øvre operativ temperatur henholdsvis 22 °C og 27 °C.



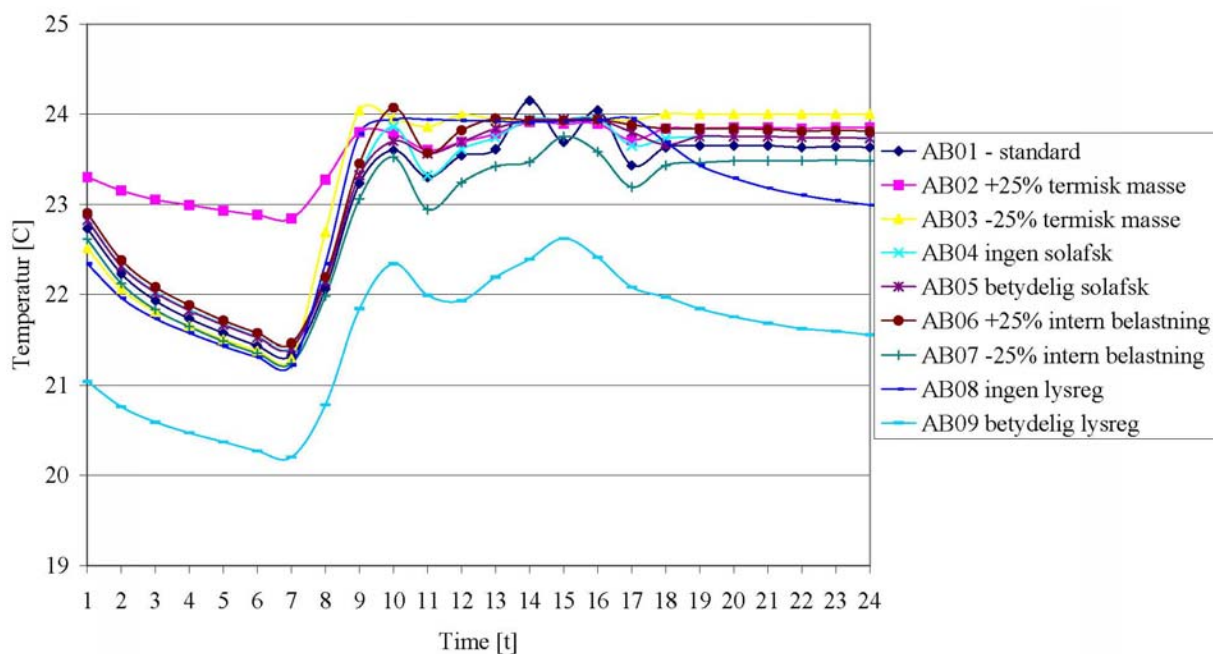
Figur 25: Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse A om sommeren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 23,5 °C og 25,5 °C.



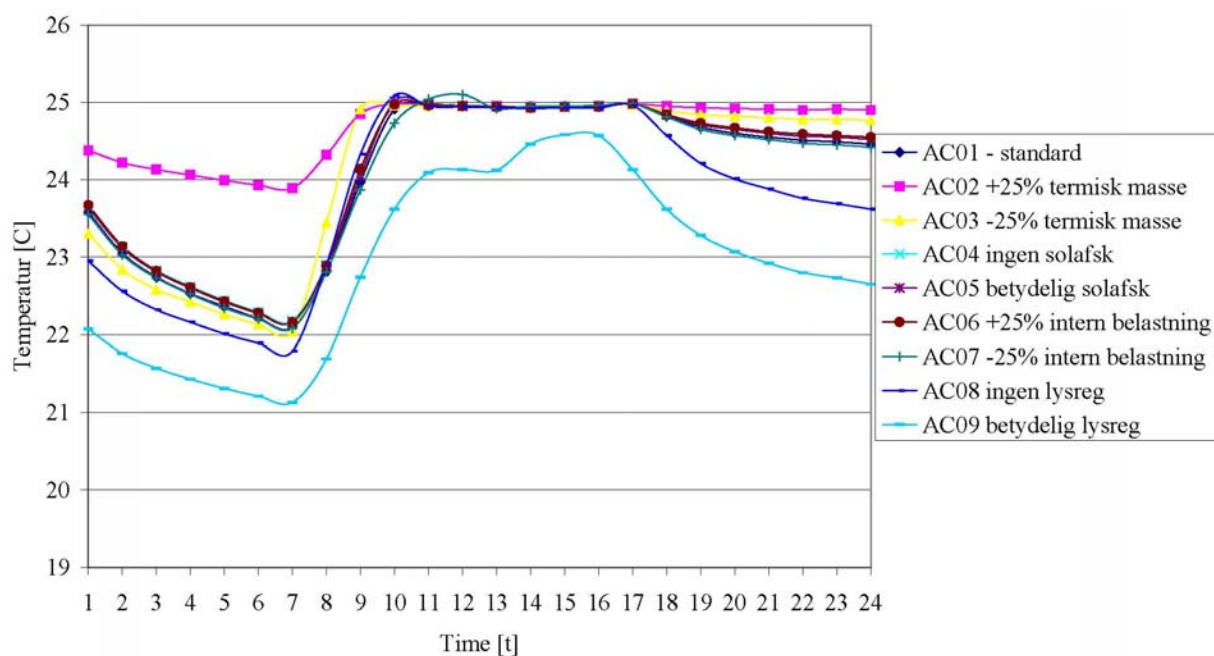
Figur 26: Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse B om sommeren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 23 °C og 26 °C.



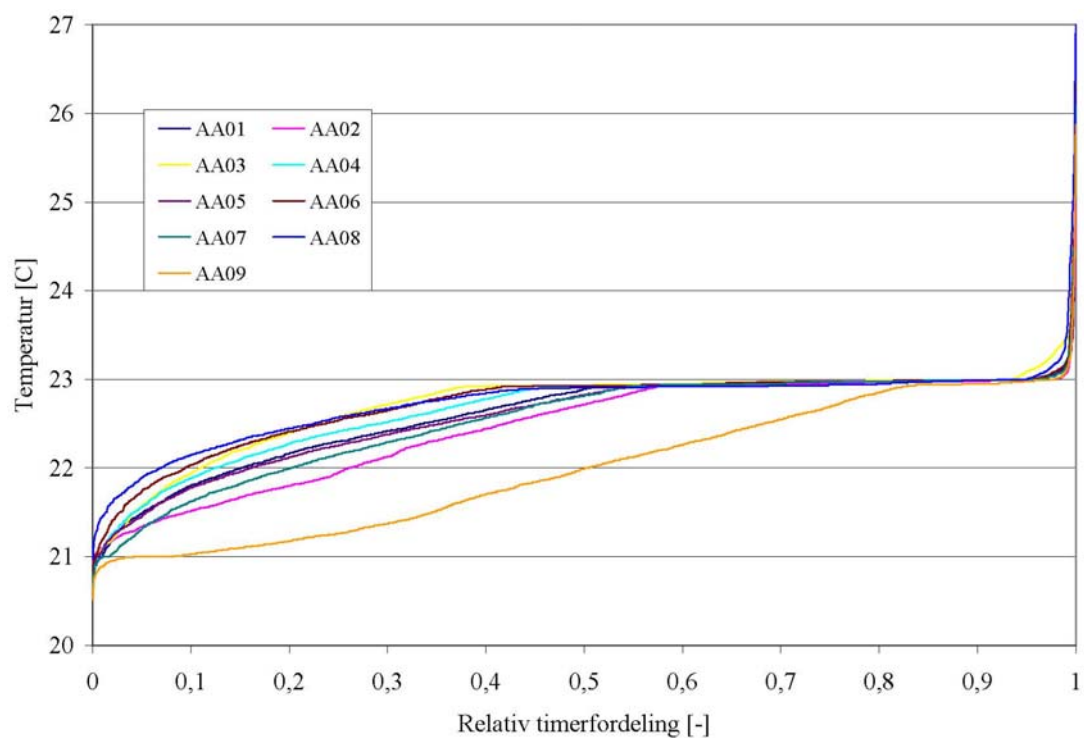
Figur 27: Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse C om sommeren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 22 °C og 27 °C.



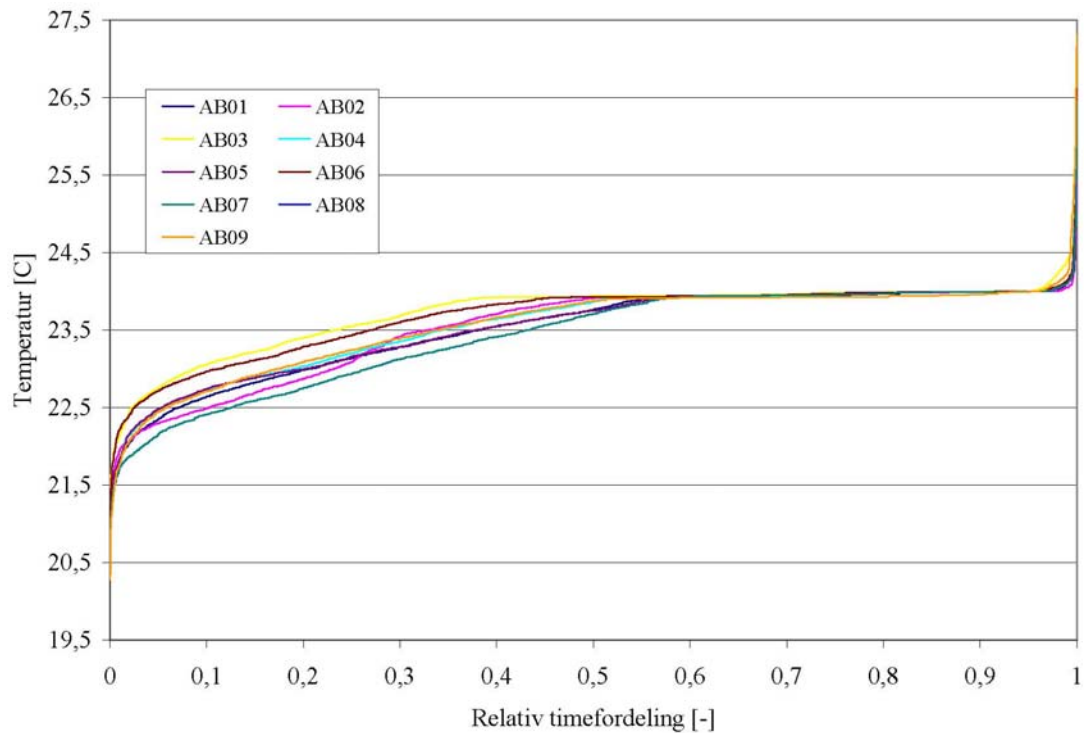
Figur 28: Temperaturprofil for d. 29. november for forventningsklasse B, ALFA-bygning. Nedre og øvre operative temperatur henholdsvis 20 °C og 22 °C.



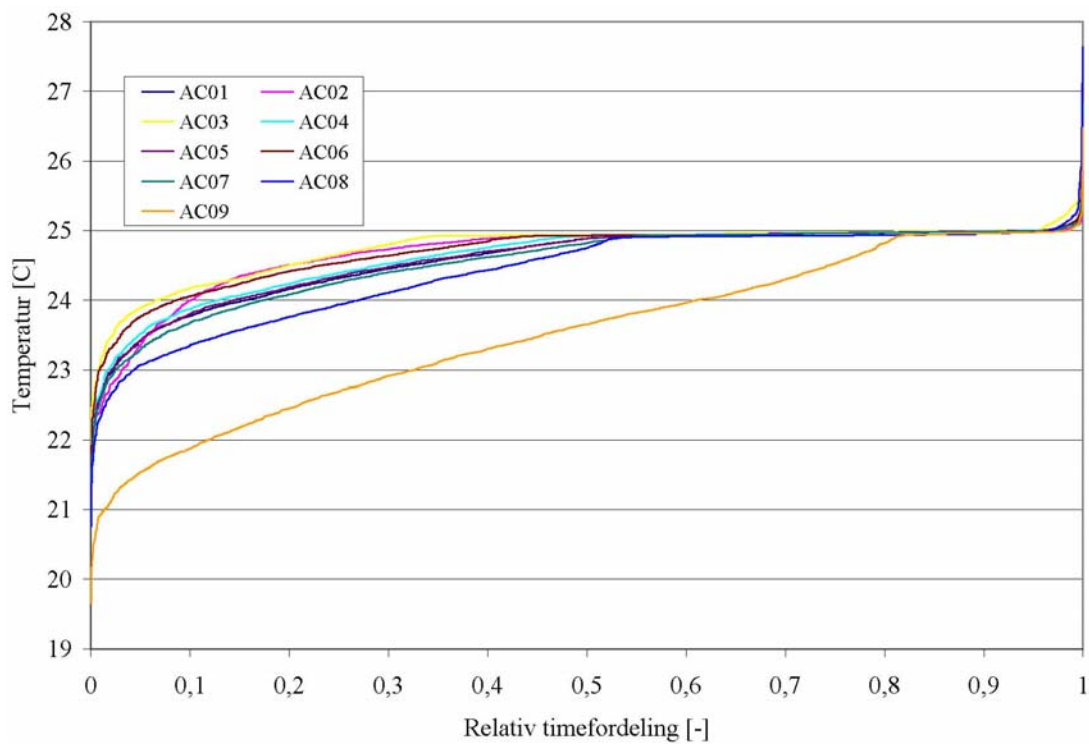
Figur 29: Temperaturprofil for d. 29. november for forventningsklasse C, ALFA-bygning. Nedre og øvre operativ temperatur henholdsvis 19 °C og 25 °C.



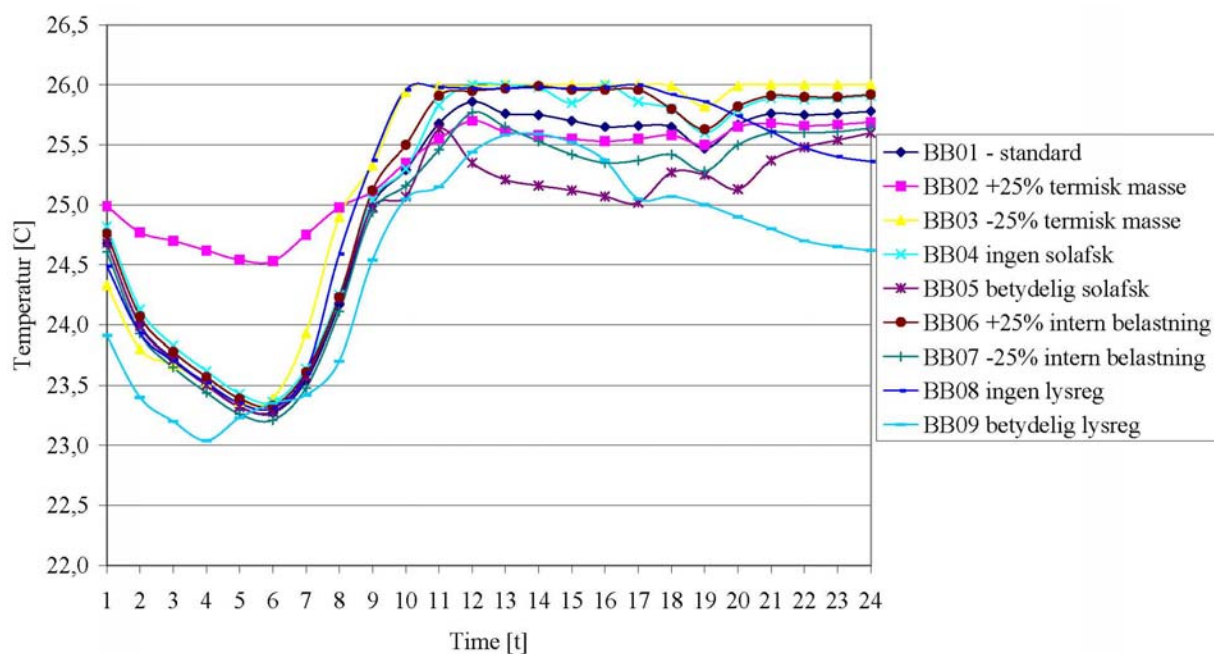
Figur 30: Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse A om vinteren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 21 °C og 23 °C.



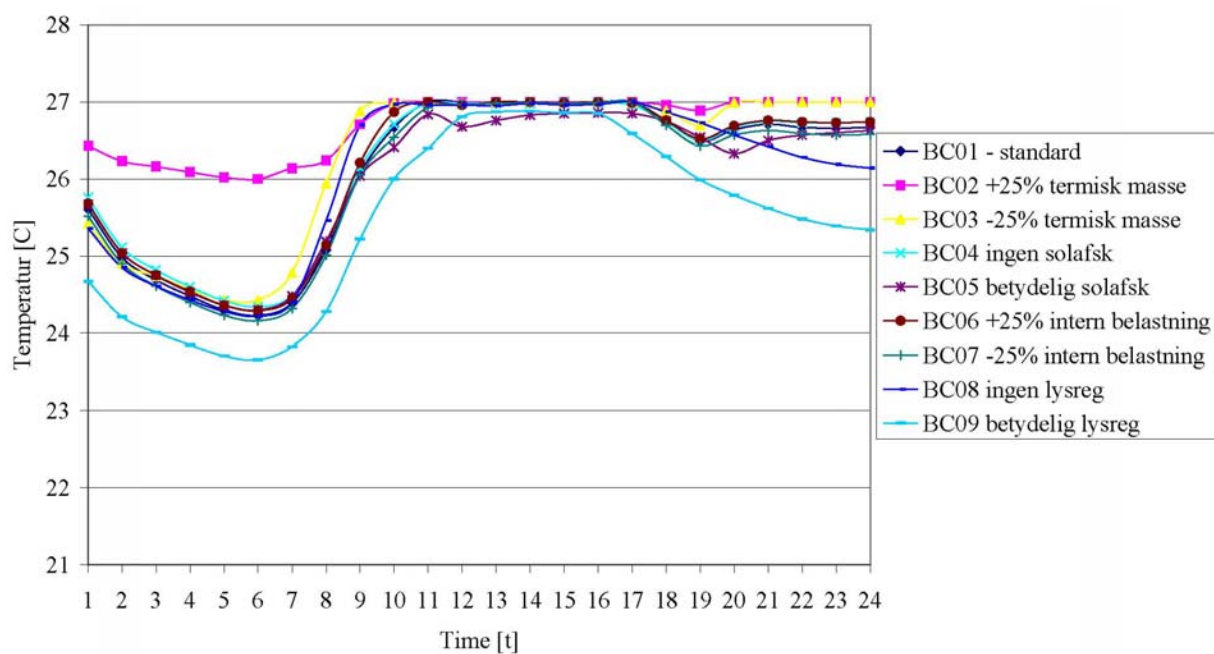
Figur 31: Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse B om vinteren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 20 °C og 24 °C.



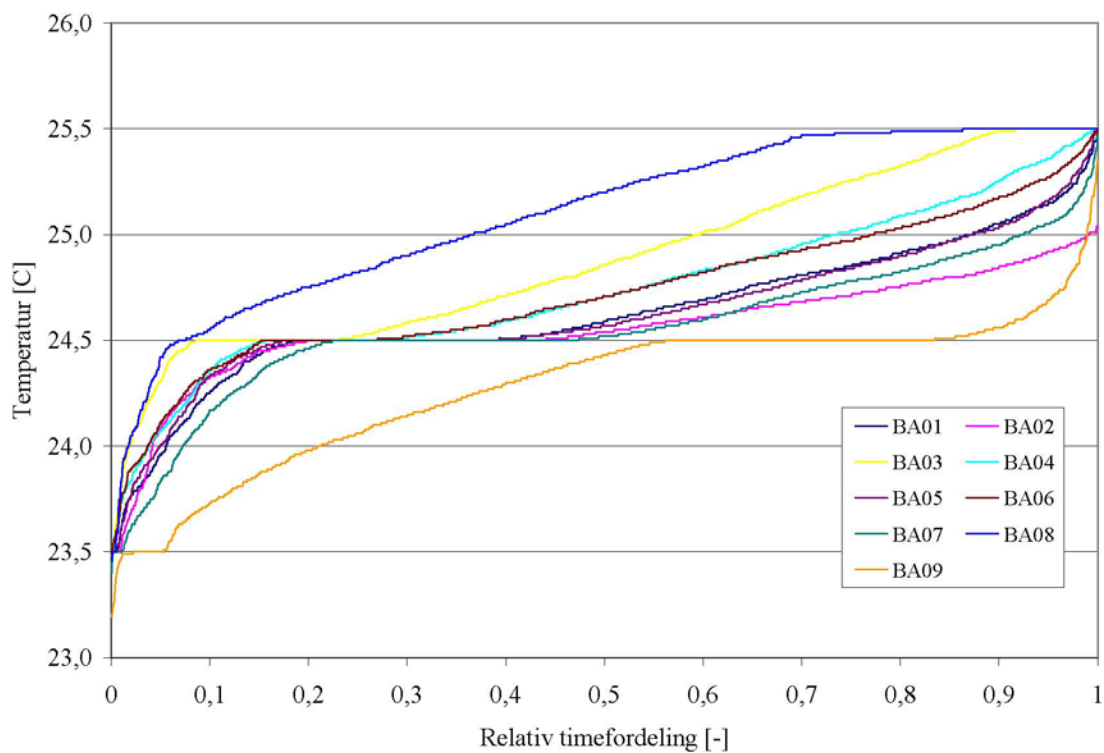
Figur 32: Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse C om vinteren, ALFA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 29 °C og 25 °C.



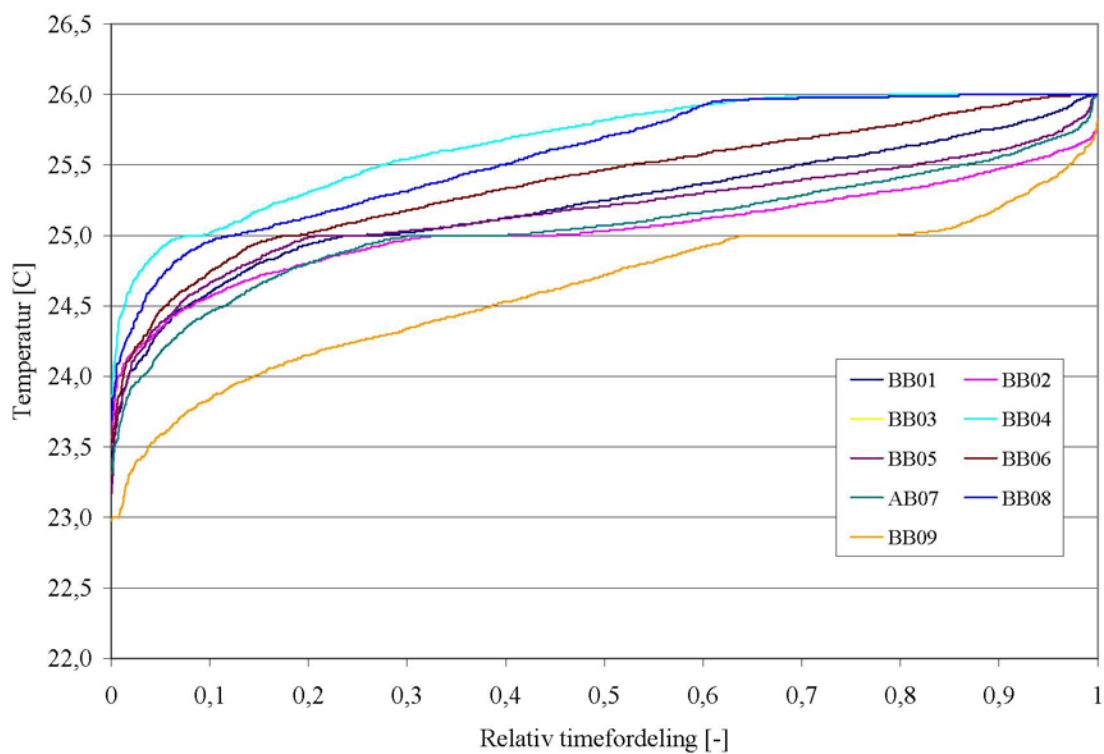
Figur 33: Temperaturprofil for d. 12. juli for forventningsklasse B, BETA-bygning. Nedre og øvre operativ temperatur henholdsvis 23 °C og 26 °C.



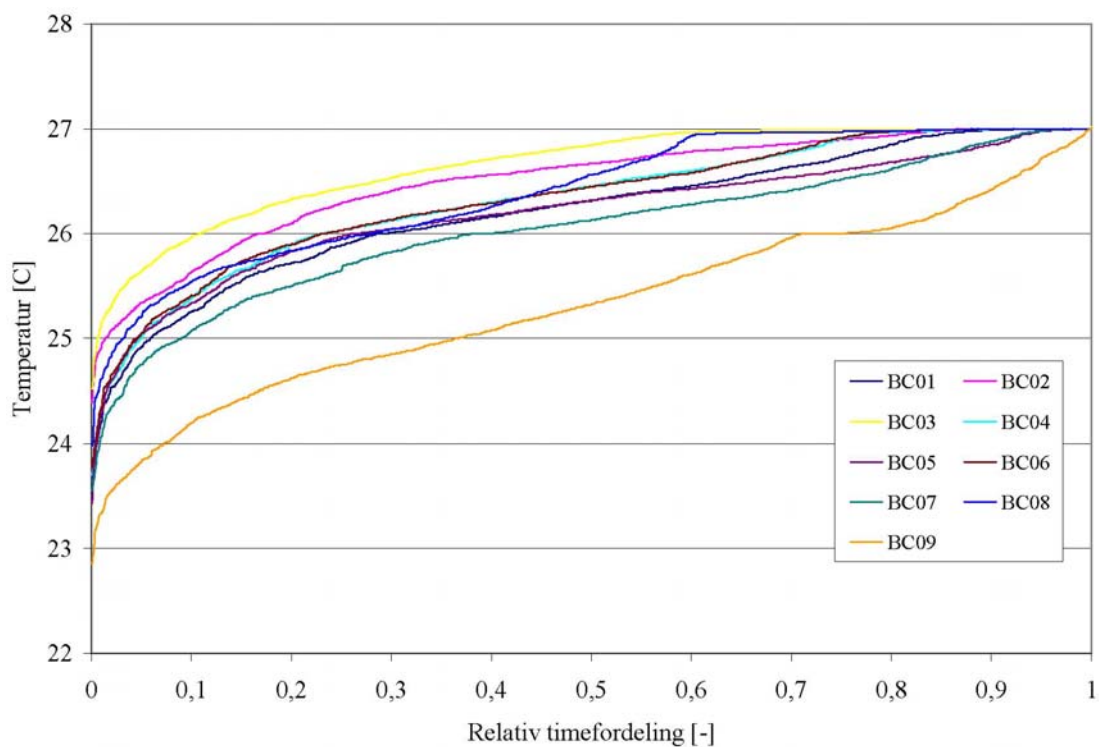
Figur 34: Temperaturprofil for d. 12. juli for forventningsklasse C, BETA-bygning. Nedre og øvre operativ temperatur henholdsvis 22 °C og 27 °C.



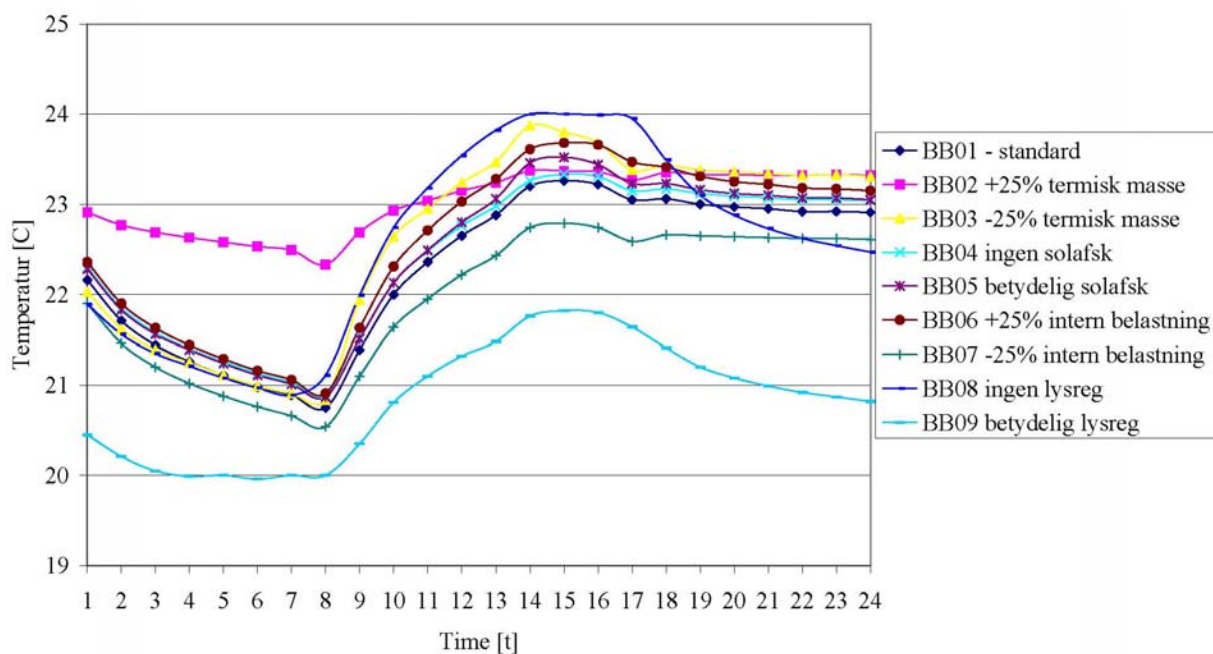
Figur 35: Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse A om sommeren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 23,5 °C og 25,5 °C.



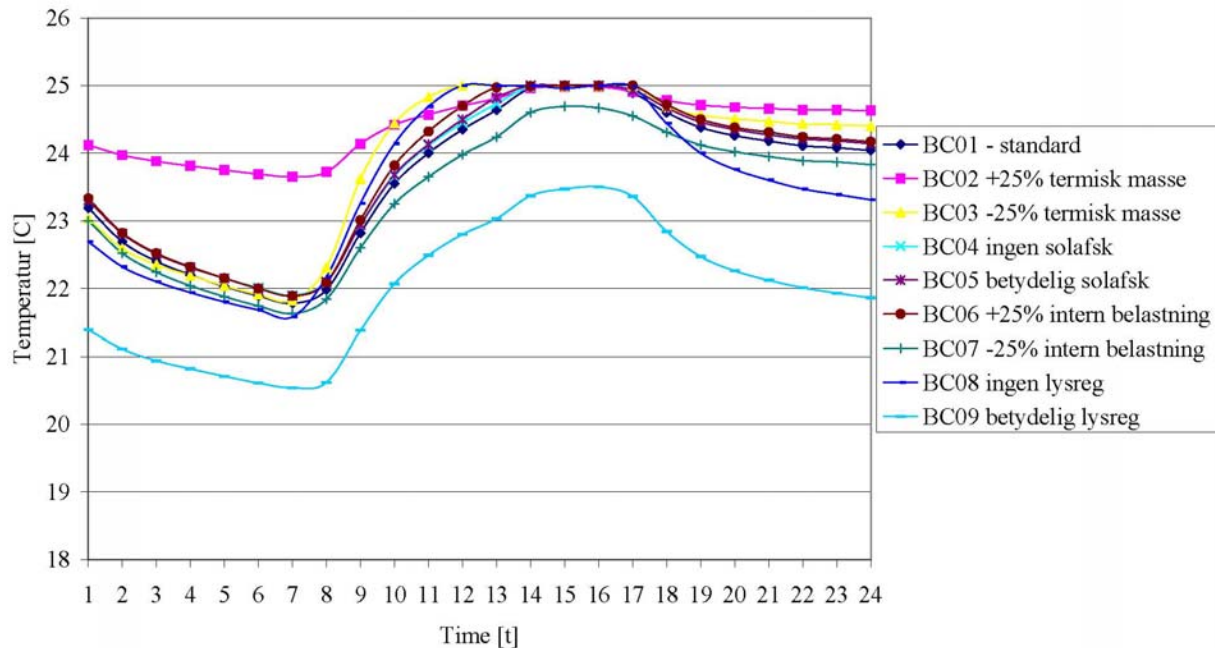
Figur 36: Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse B om sommeren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 23 °C og 26 °C.



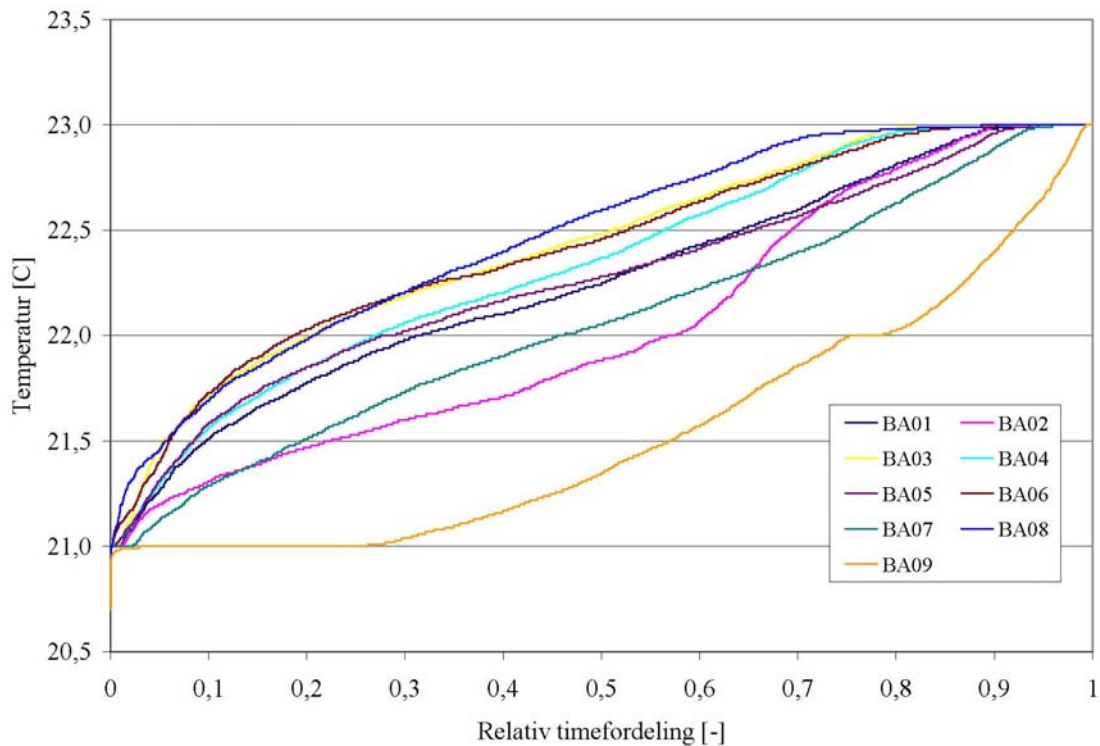
Figur 37: Varighedskurve for den operative temperatur for forventningsklasse C om sommeren, BETA-bygning. Nedre og øvre grænse henholdsvis 22 °C og 27 °C.



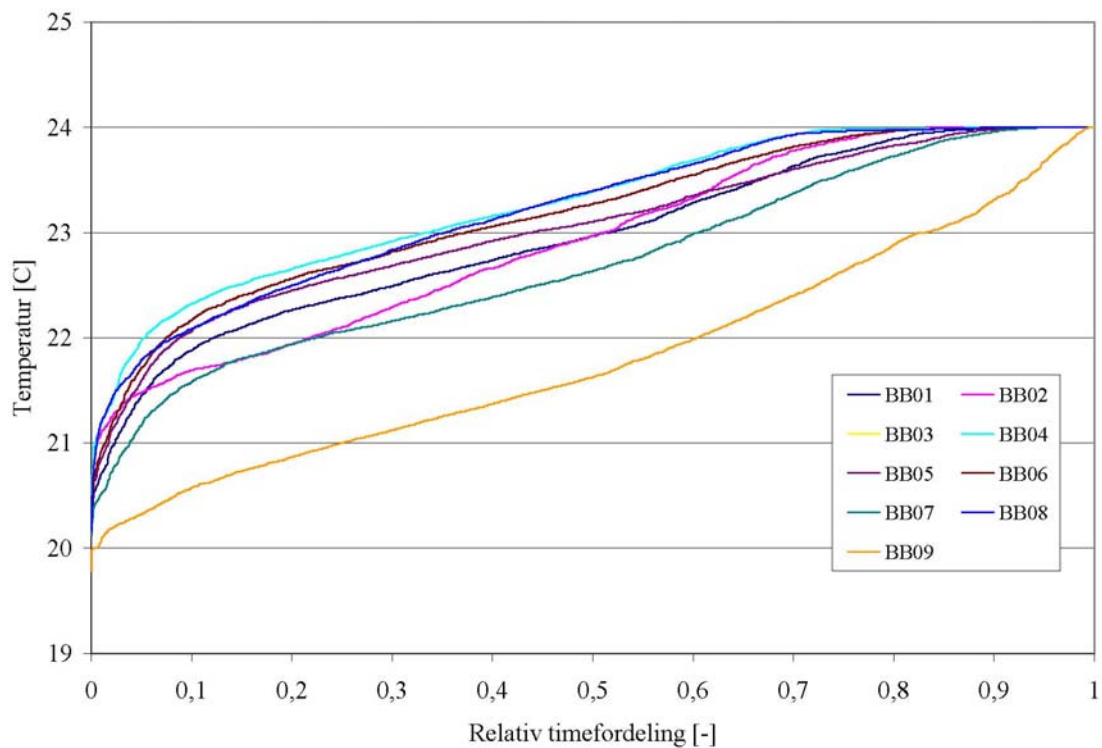
Figur 38: Temperaturprofil for d. 29. november for forventningsklasse B, BETA-bygning. Nedre og øvre operative temperatur henholdsvis 20 °C og 24 °C.



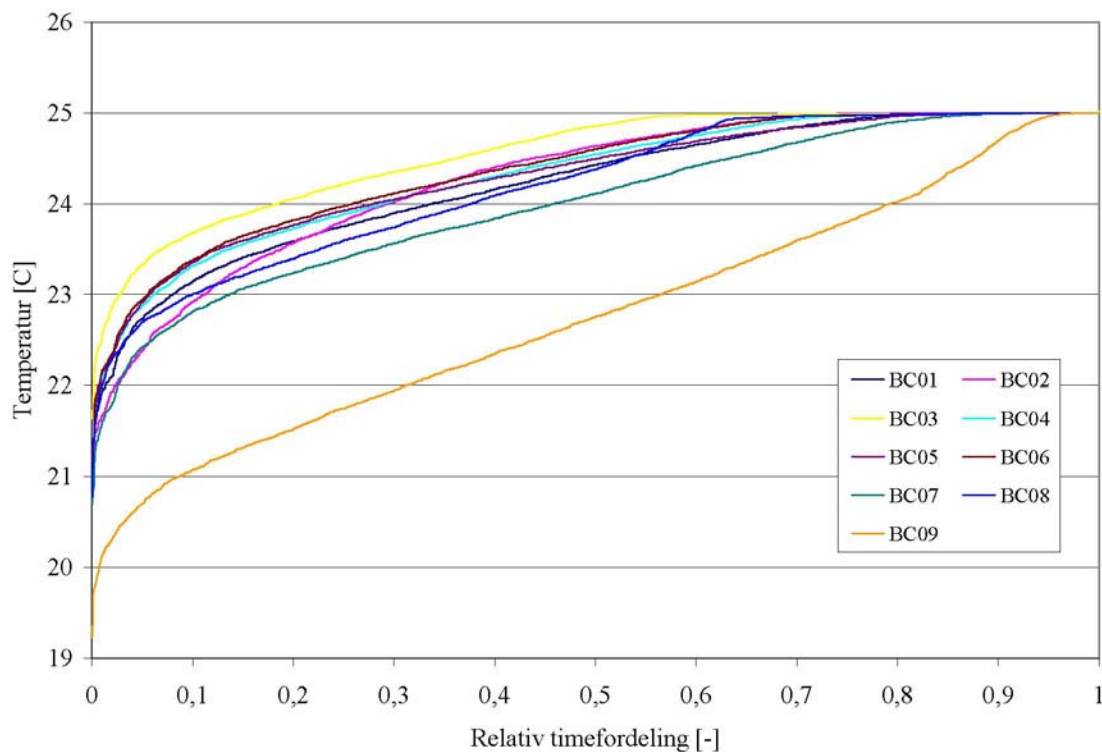
Figur 39: Temperaturprofil for d. 29. november for forventningsklasse C, BETA-bygning. Nedre og øvre operative temperatur henholdsvis 19 °C og 25 °C.



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.

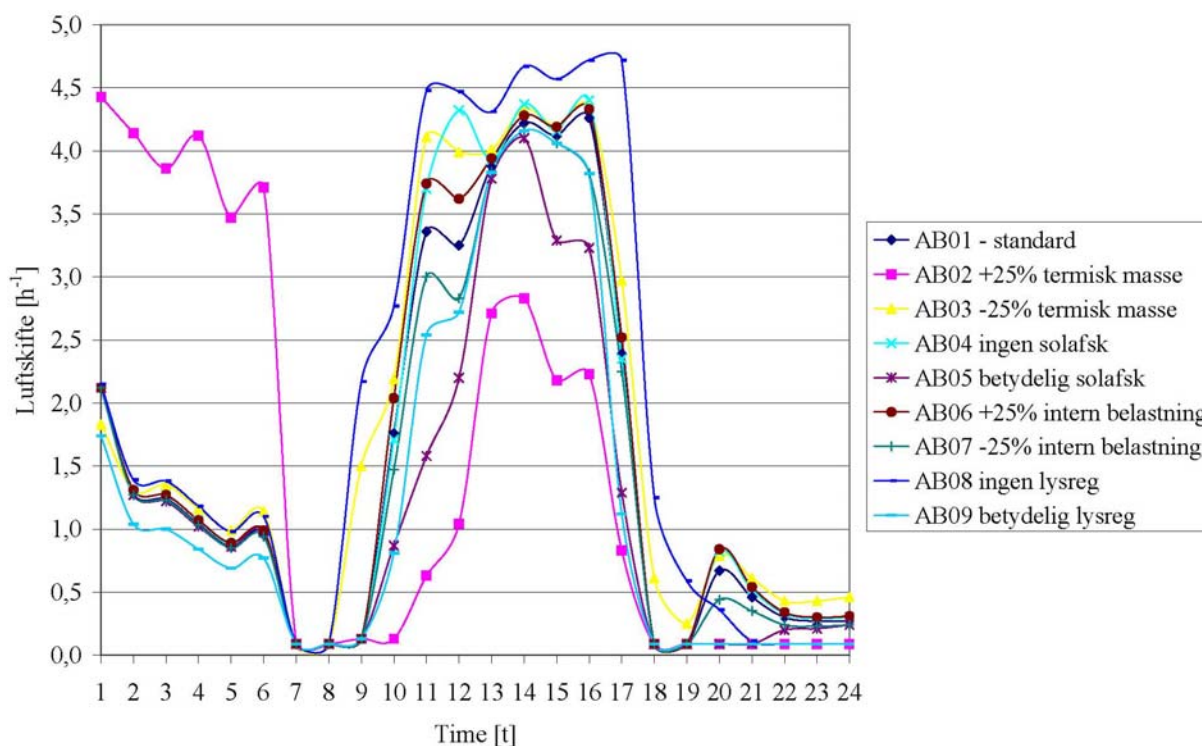
G. Atmosfærisk indeklima

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 CO₂ koncentrationen efterfølger.

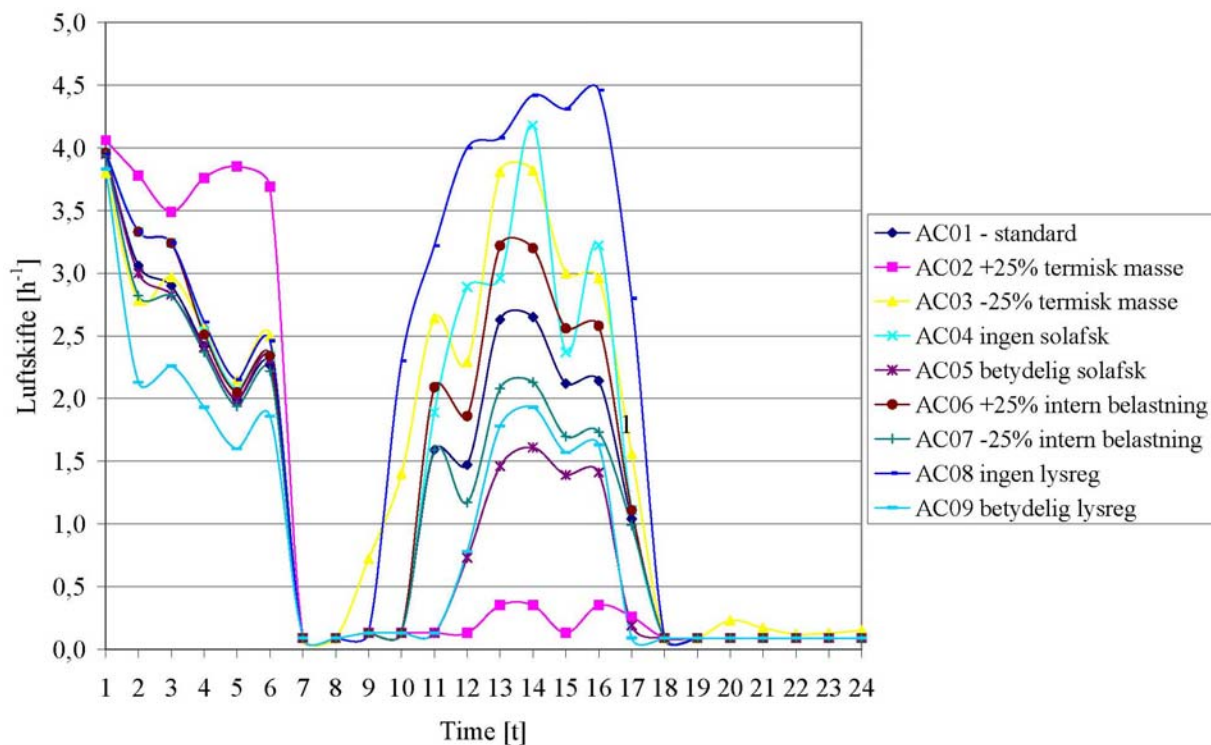
Figur 37: Profil af luftskiftet for forventningsklasse B d. 13. juli, ALFA-bygning.
Figur 38: Profil af luftskiftet for forventningsklasse C d. 13. juli, ALFA-bygning.
Figur 39: Fordeling af luftskifte ift. parametervariation for forventningsklasse B om sommeren, ALFA-bygning.
Figur 40: Fordeling af 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 ₂ koncentrationen for forventningsklasse B d. 13. juli, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO ₂ koncentration 1010 ppm.
Figur 48: Udvikling af CO ₂ koncentrationen for forventningsklasse C d. 13. juli, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO ₂ koncentration 1540 ppm.
Figur 49: Varighedskurve for CO ₂ koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om sommeren, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO ₂ koncentration 810 ppm.
Figur 50: Varighedskurve for CO ₂ koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om sommeren, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO ₂ koncentration 1010 ppm.
Figur 51: Varighedskurve for CO ₂ koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om sommeren, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO ₂ 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 ₂ koncentrationen for forventningsklasse B d. 29. november, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO ₂ koncentration 1010 ppm.
Figur 63: Udvikling af CO ₂ koncentrationen for forventningsklasse C d. 29. november, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO ₂ koncentration 1540 ppm.
Figur 64: Varighedskurve for CO ₂ koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om vinteren, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO ₂ koncentration 810 ppm.
Figur 65: Varighedskurve for CO ₂ koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om vinteren, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO ₂ 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.

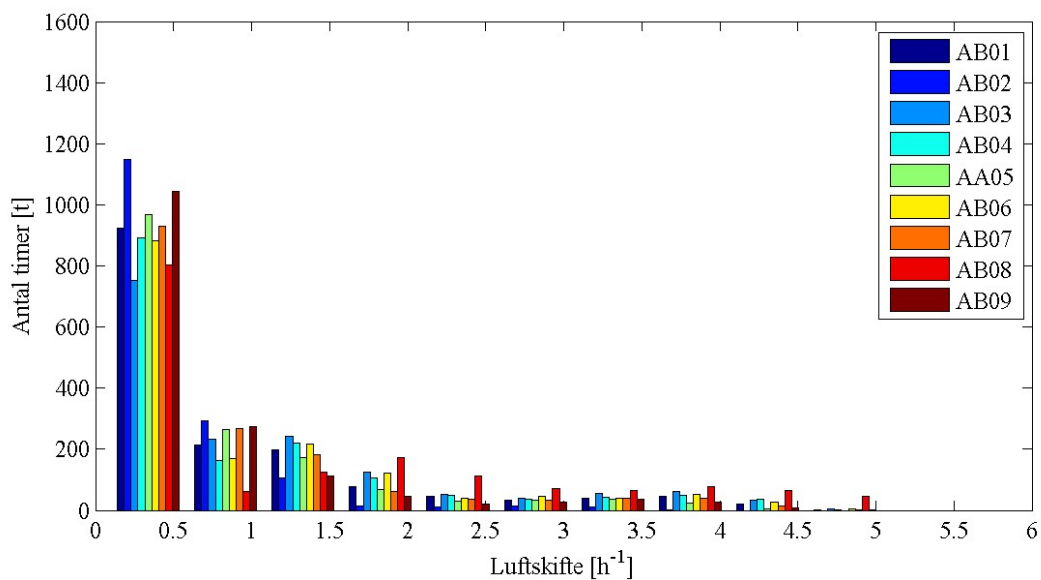
Tabel 18: Figuroversigt for det forventede atmosfæriske indeklima.



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.

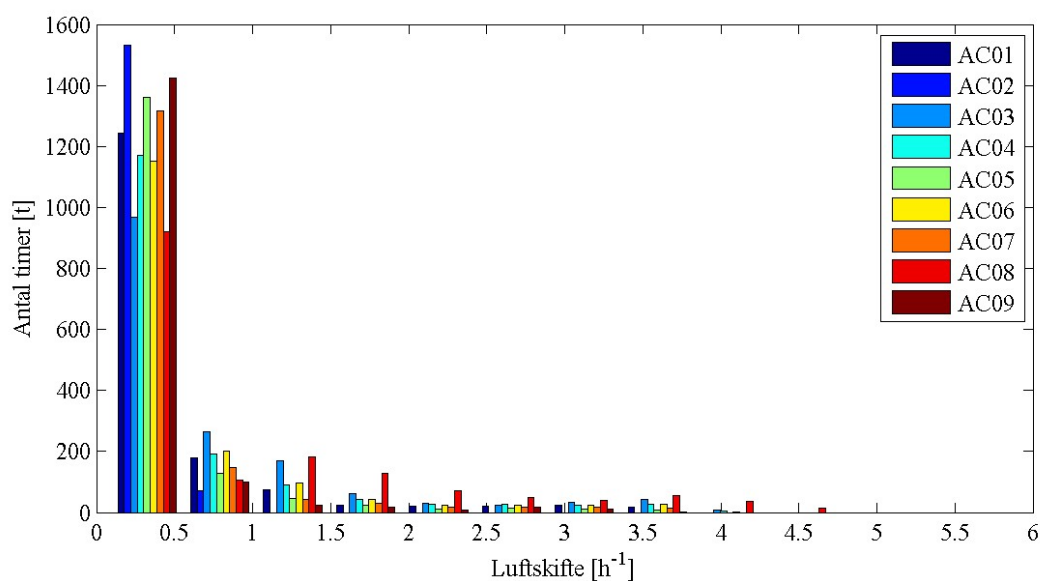


Figure 46: Fordeling af luftskifte ift. parametervariation for forventningsklasse C om sommeren, ALFA-bygning.

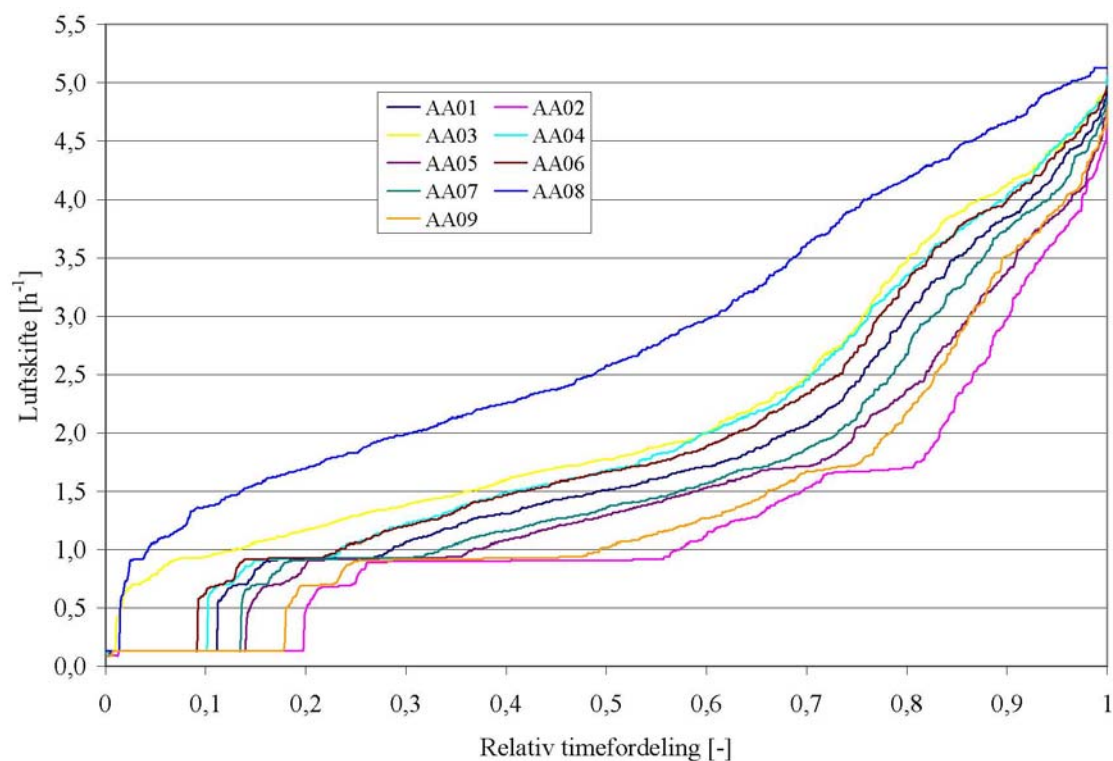
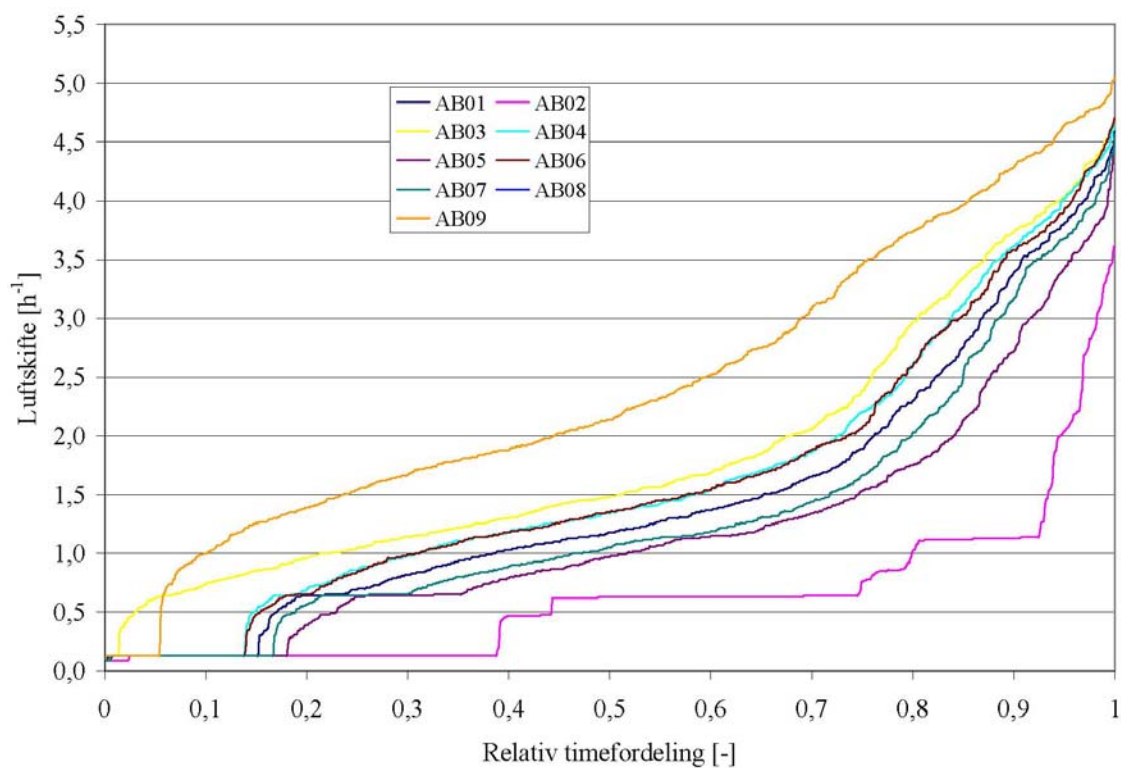
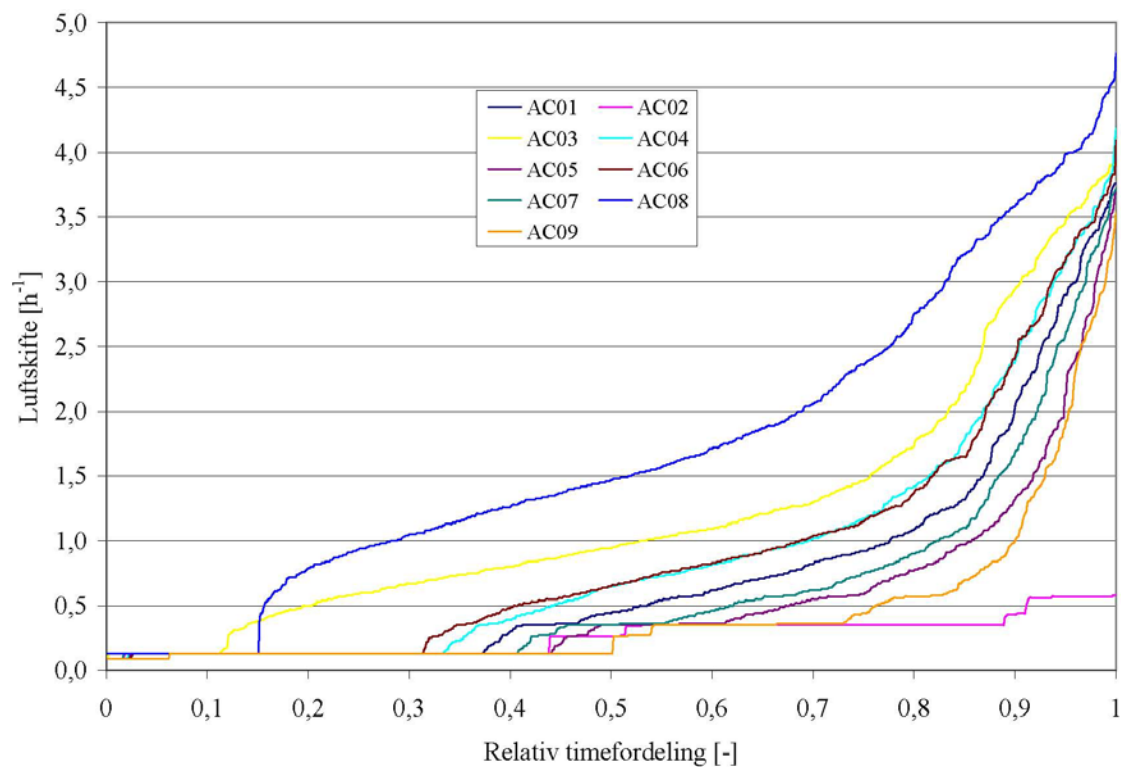


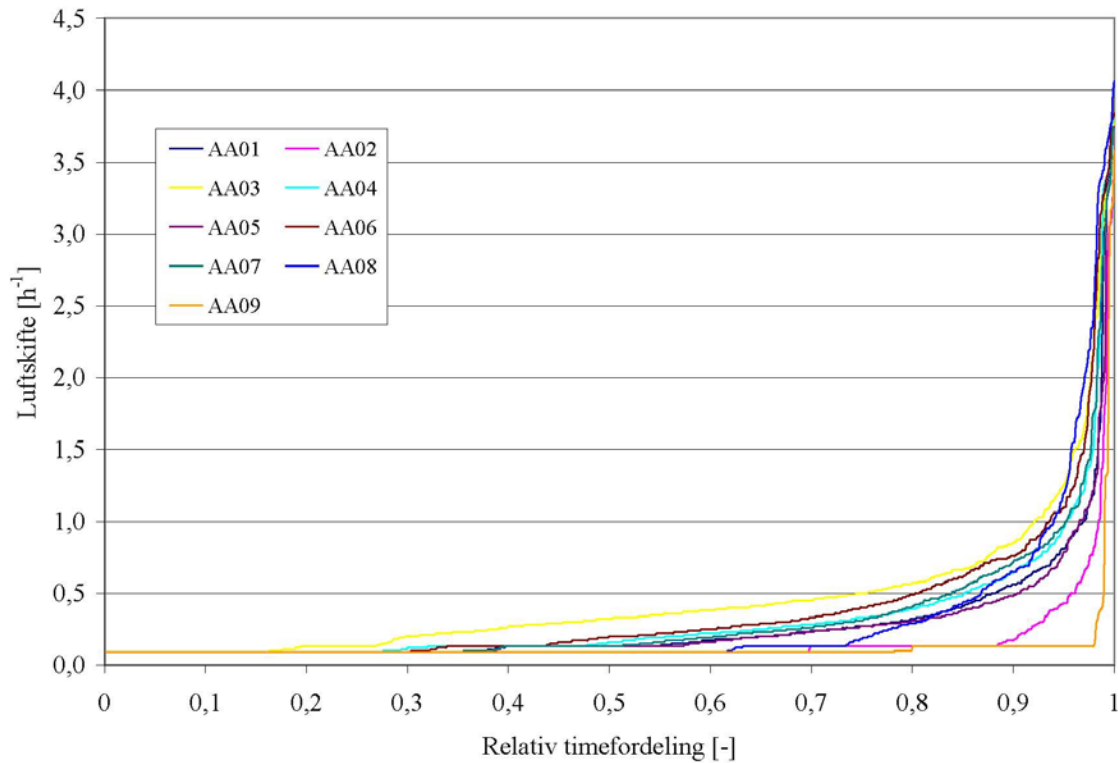
Figure 47: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om sommeren hverdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



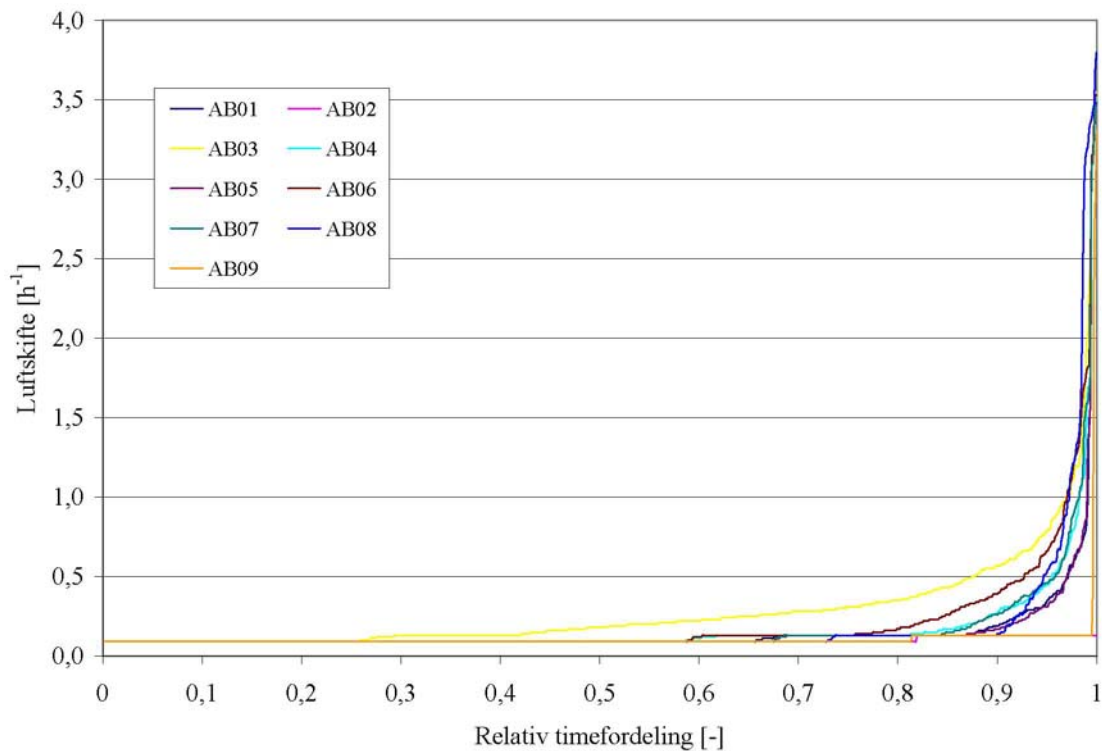
Figur 48: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om sommeren hverdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



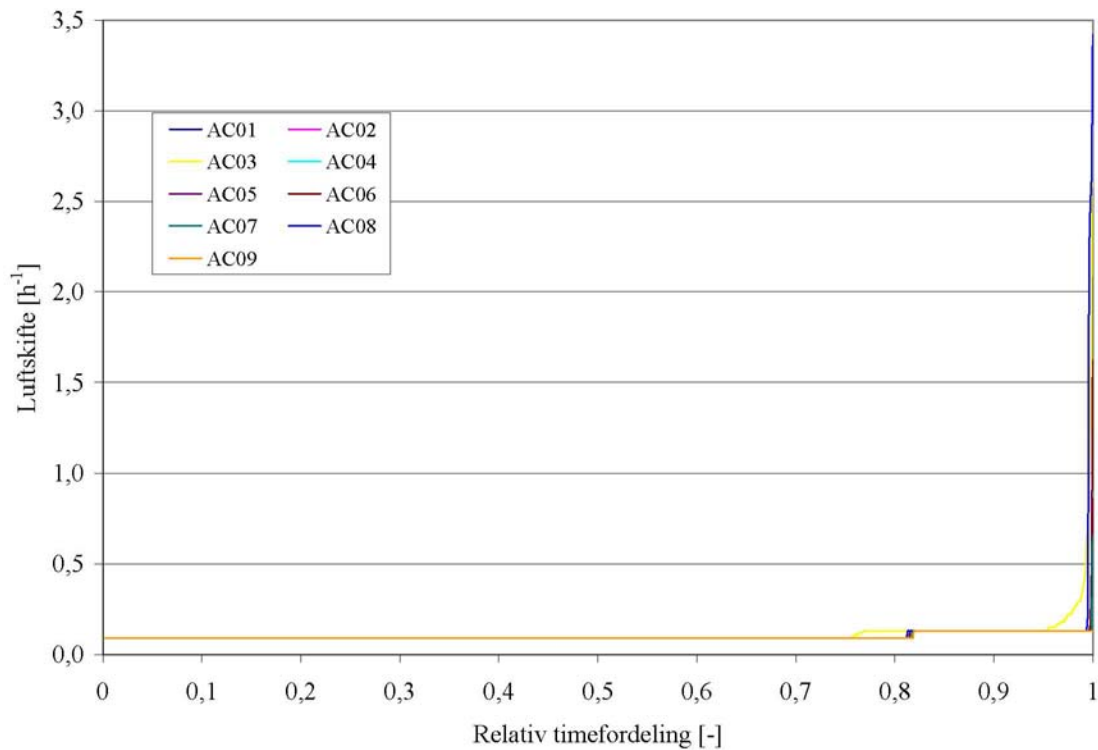
Figur 49: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om sommeren hverdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



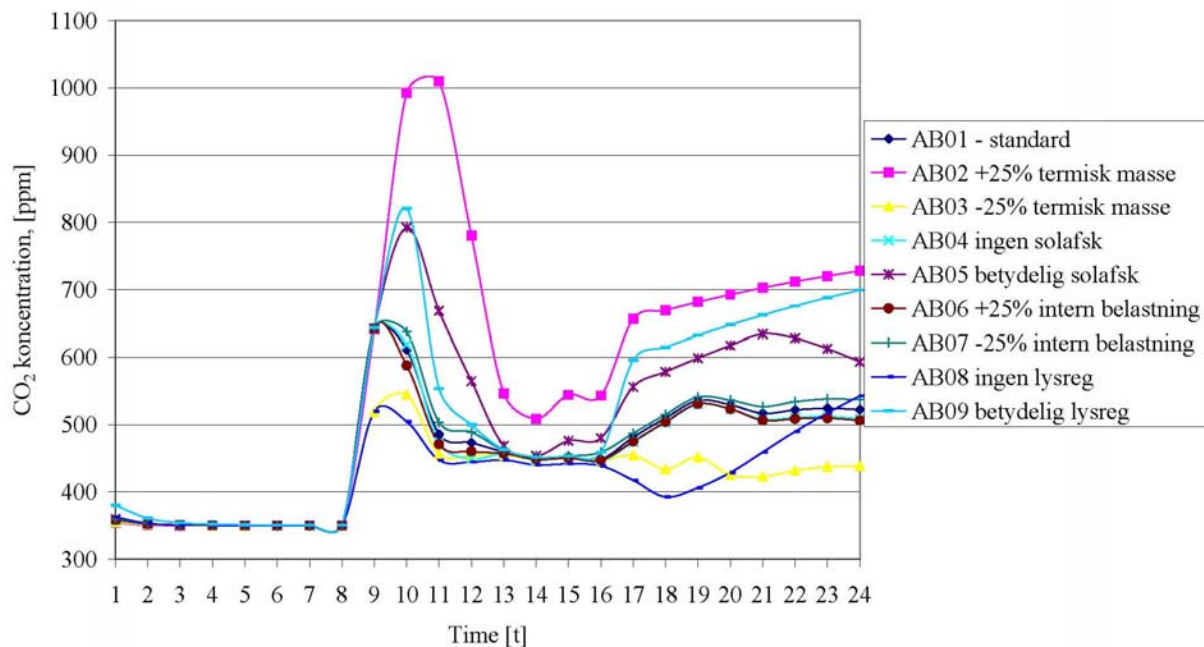
Figur 50: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om sommeren hverdage kl. 17-24 samt lørdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



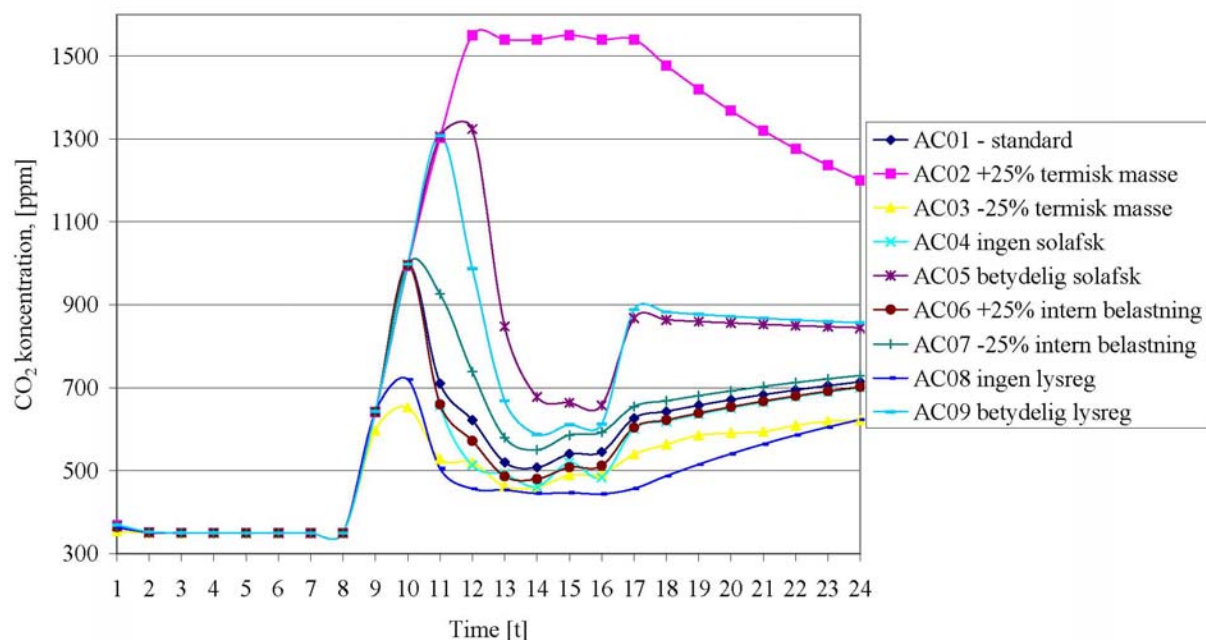
Figur 51: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om sommeren hverdage kl. 17-24 samt lørdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



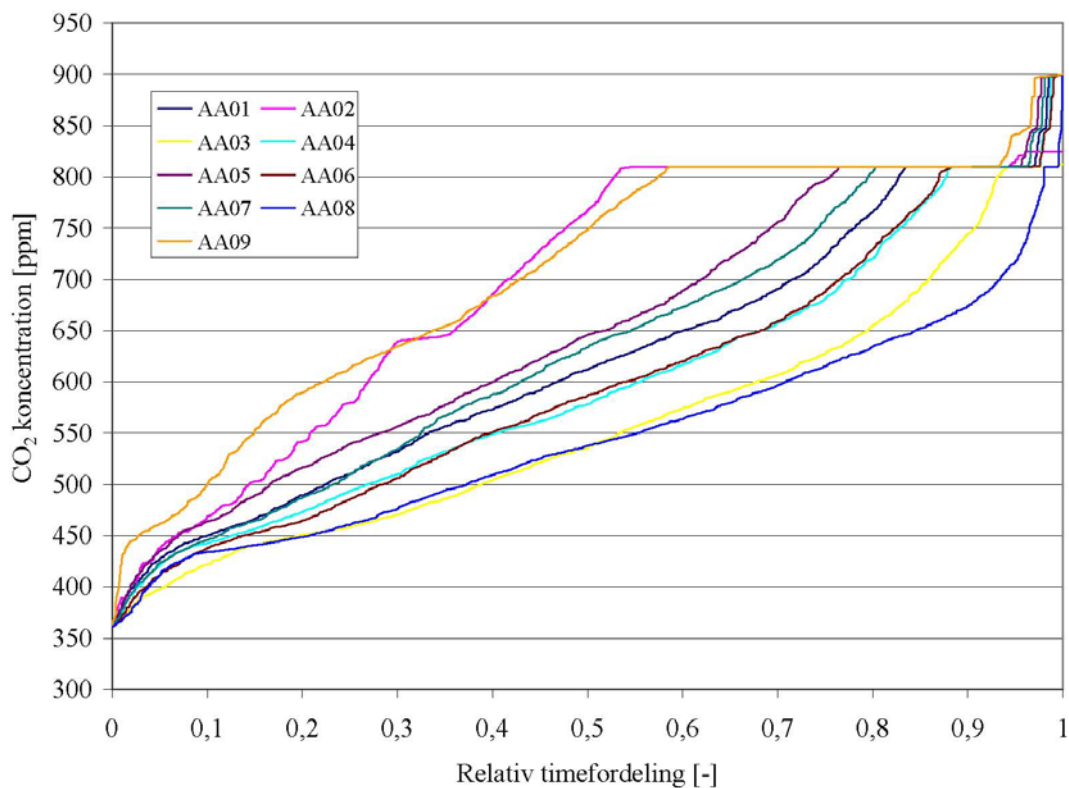
Figur 52: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om sommeren hverdage kl. 17-24 samt lørdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



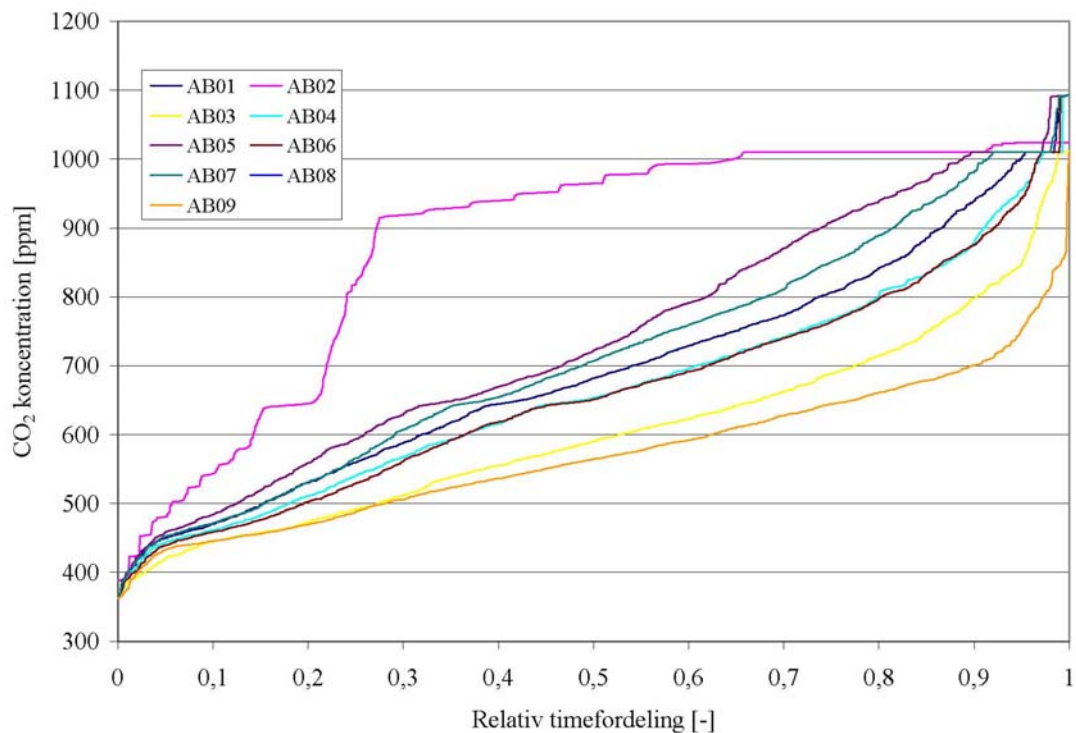
Figur 53: Udvikling af CO₂ koncentrationen for forventningsklasse B d. 13. juli, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO₂ koncentration 1010 ppm.



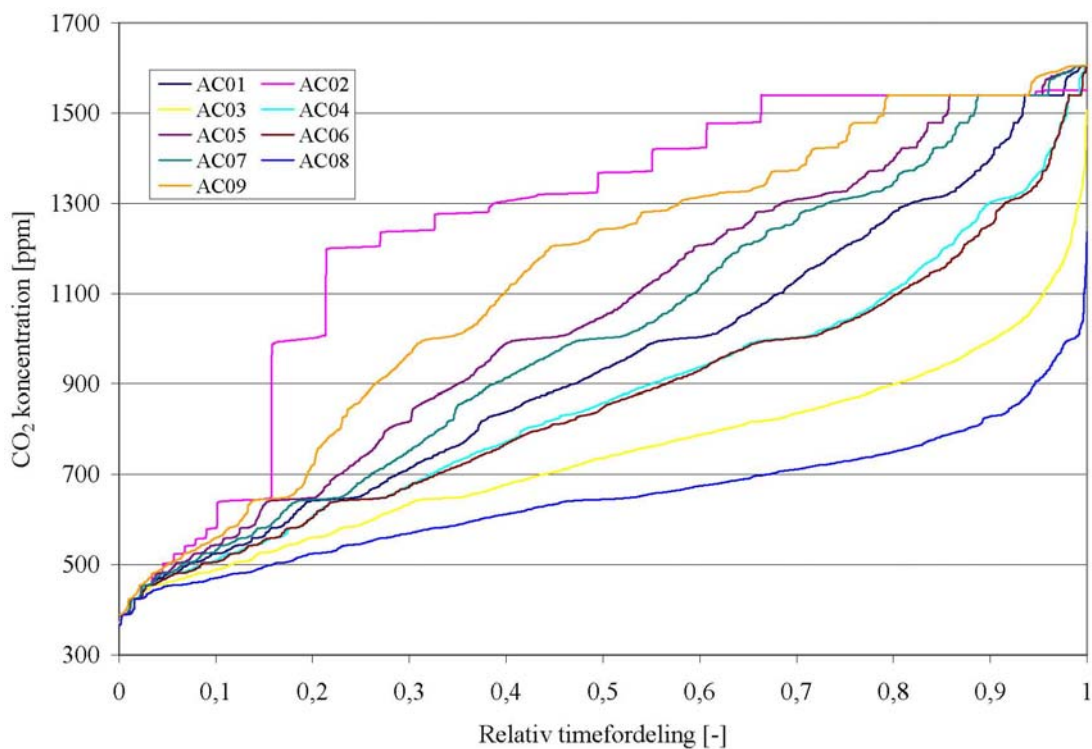
Figur 54: Udvikling af CO₂ koncentrationen for forventningsklasse C d. 13. juli, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO₂ koncentration 1540 ppm.



Figur 55: Varighedskurve for CO₂ koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om sommeren, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO₂ koncentration 810 ppm.

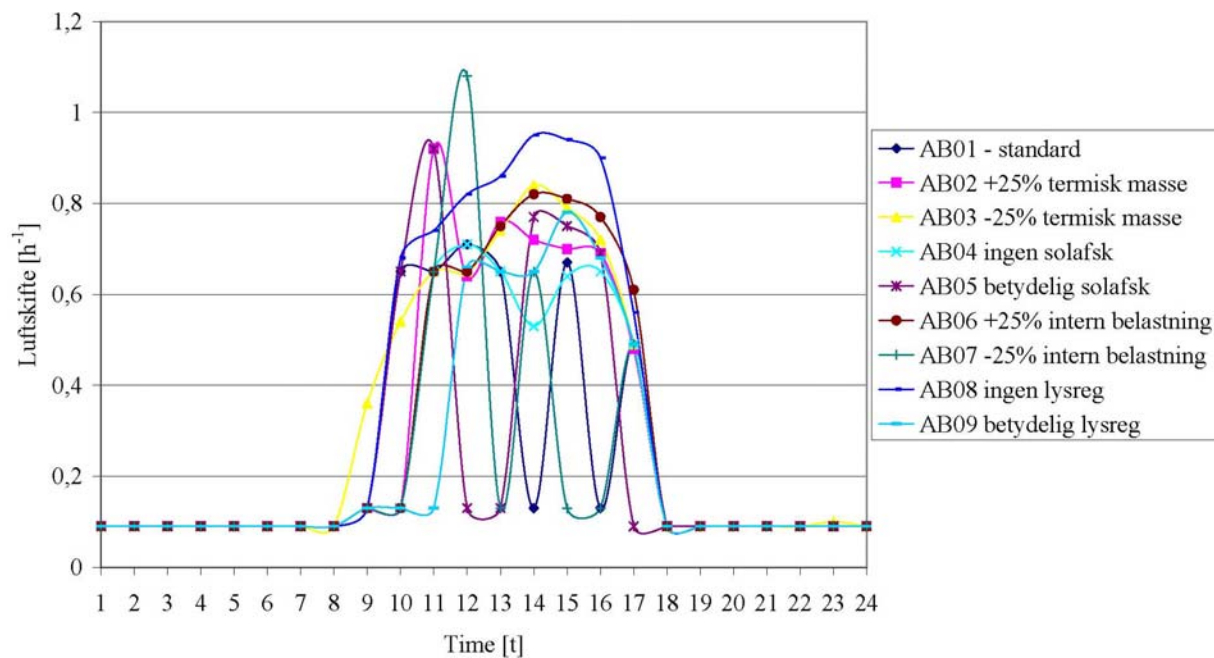


Figur 56: Varighedskurve for CO₂ koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om sommeren, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO₂ koncentration 1010 ppm.

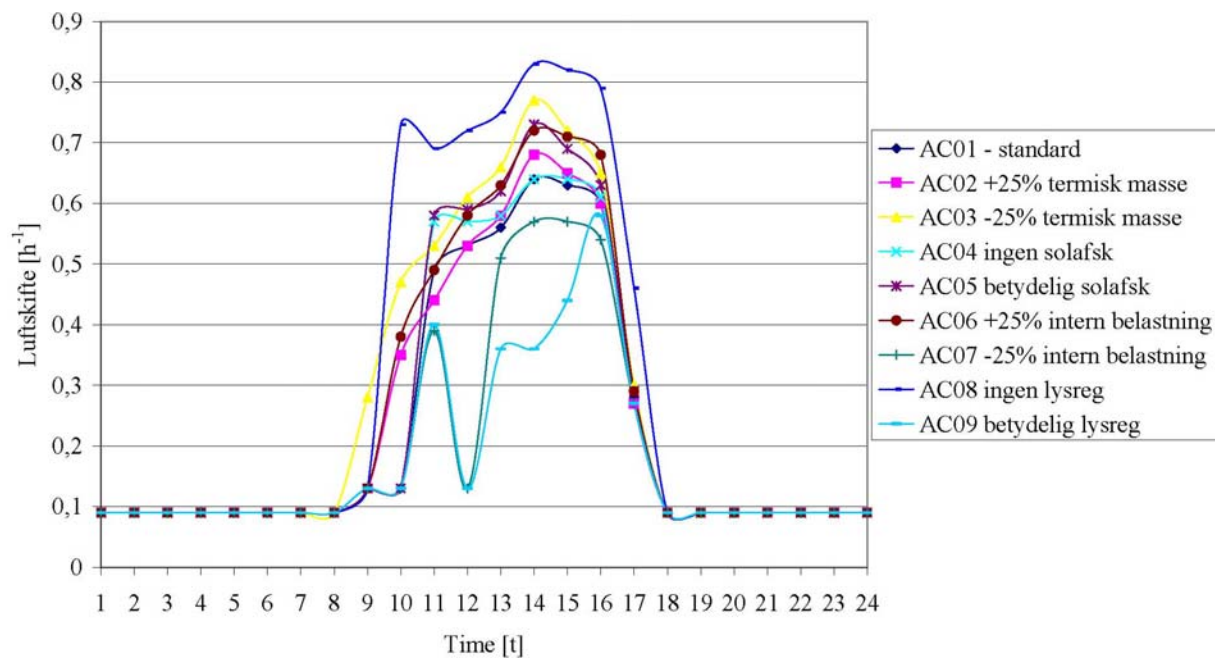


Figur 57: Varighedskurve for CO₂ koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om sommeren, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO₂ koncentration 1540 ppm.

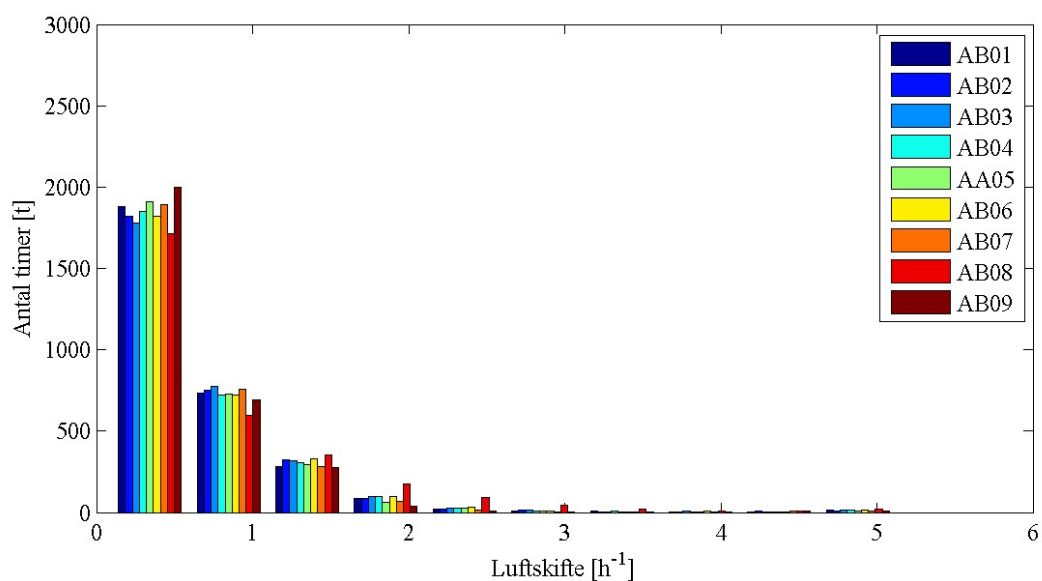
ALFA-bygning, vintercases



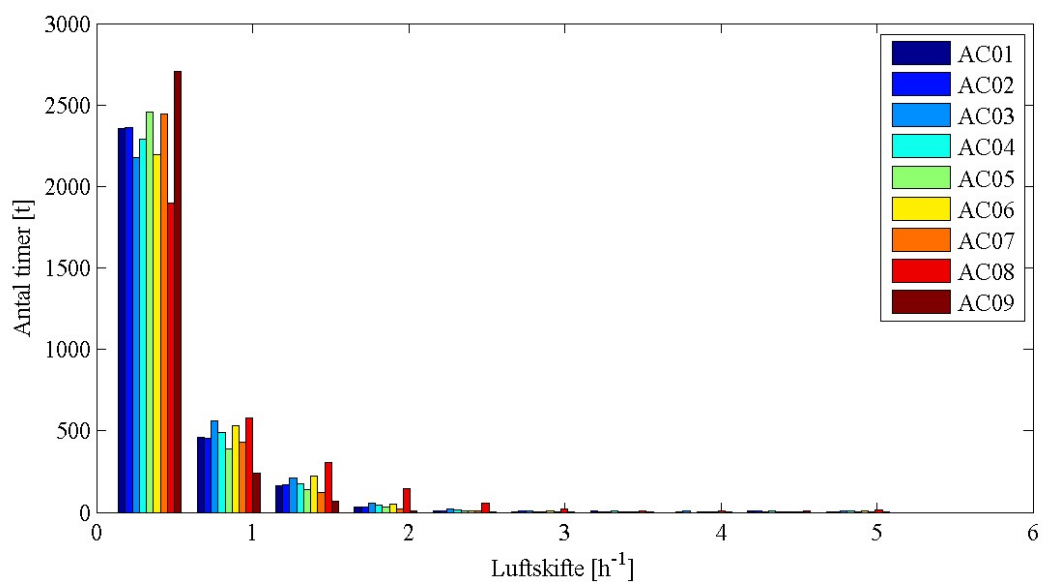
Figur 58: Profil af luftskiftet for forventningsklasse B d. 29. november, ALFA-bygning.



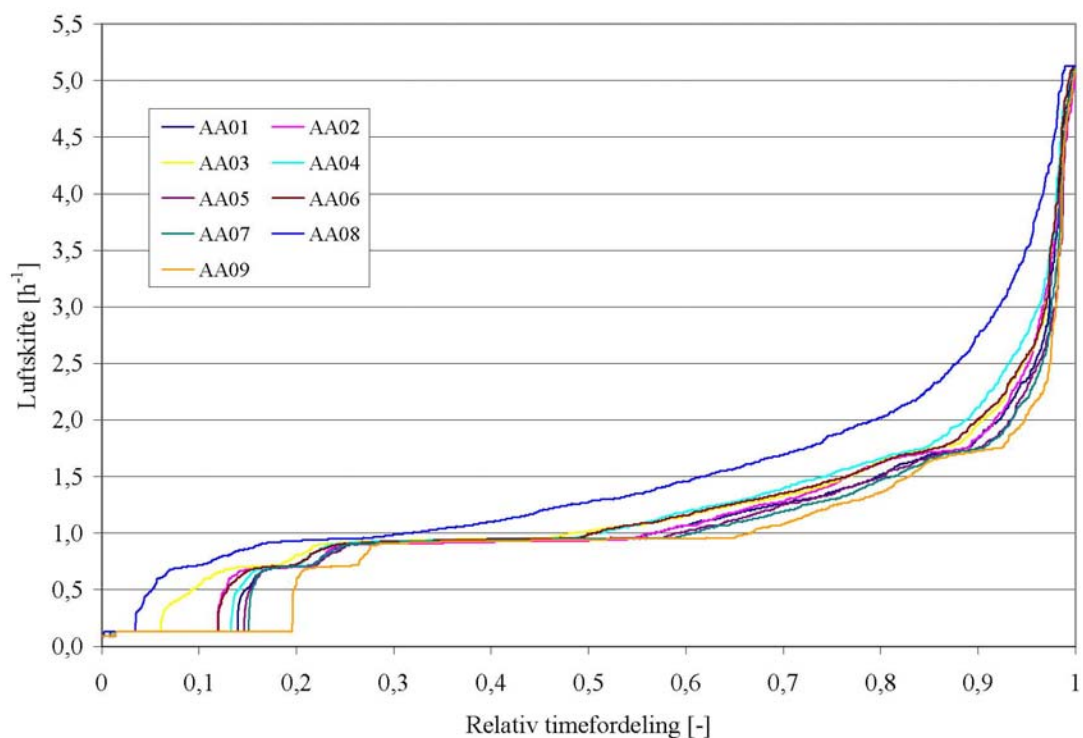
Figur 59: Profil af luftskiftet for forventningsklasse C d. 29. november, ALFA-bygning.



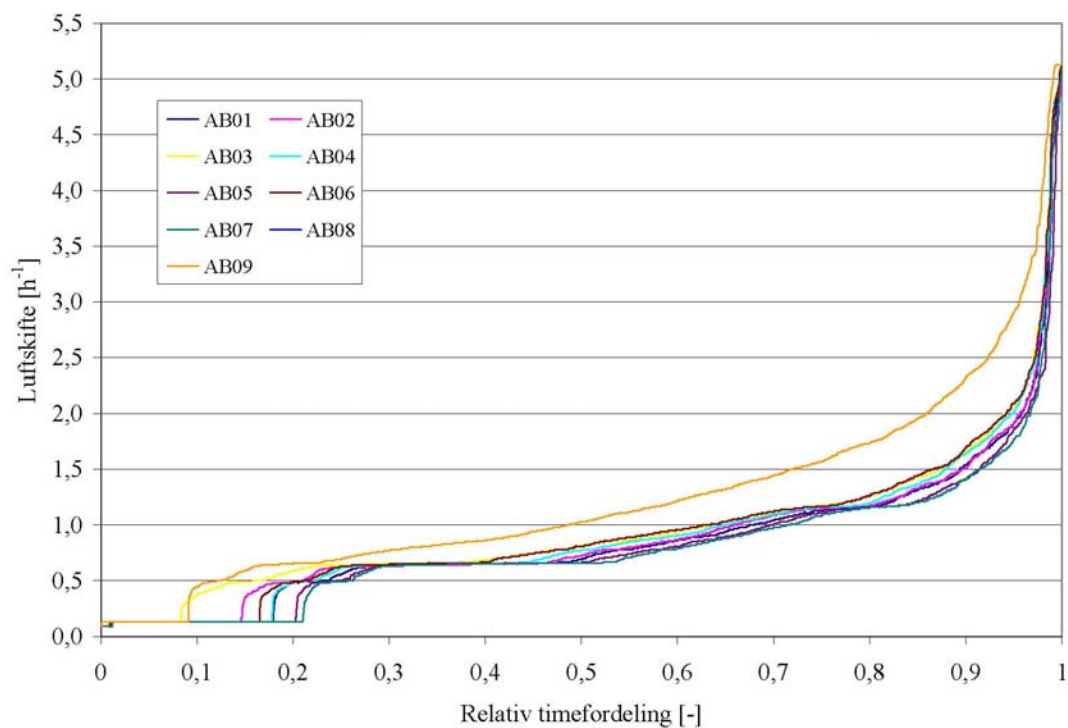
Figur 60: Fordeling af luftskifte ift. parametervariation for forventningsklasse B om vinteren, ALFA-bygning.



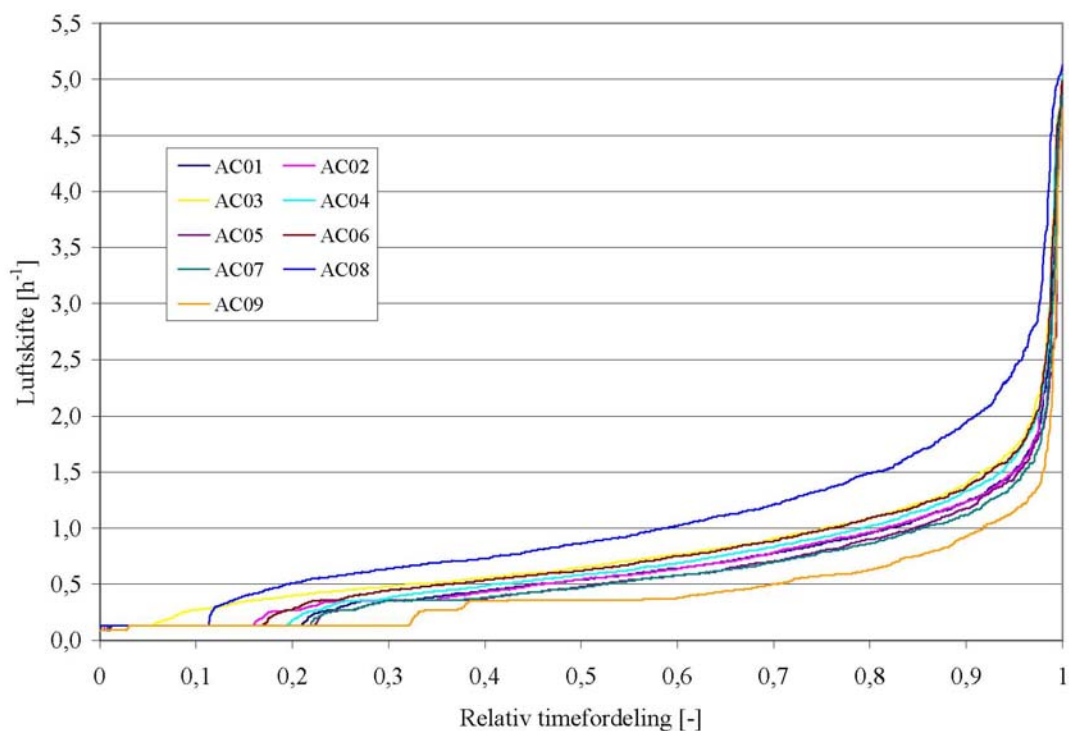
Figur 61: Fordeling af luftskifte ift. parametervariation for forventningsklasse C om vinteren, ALFA-bygning.



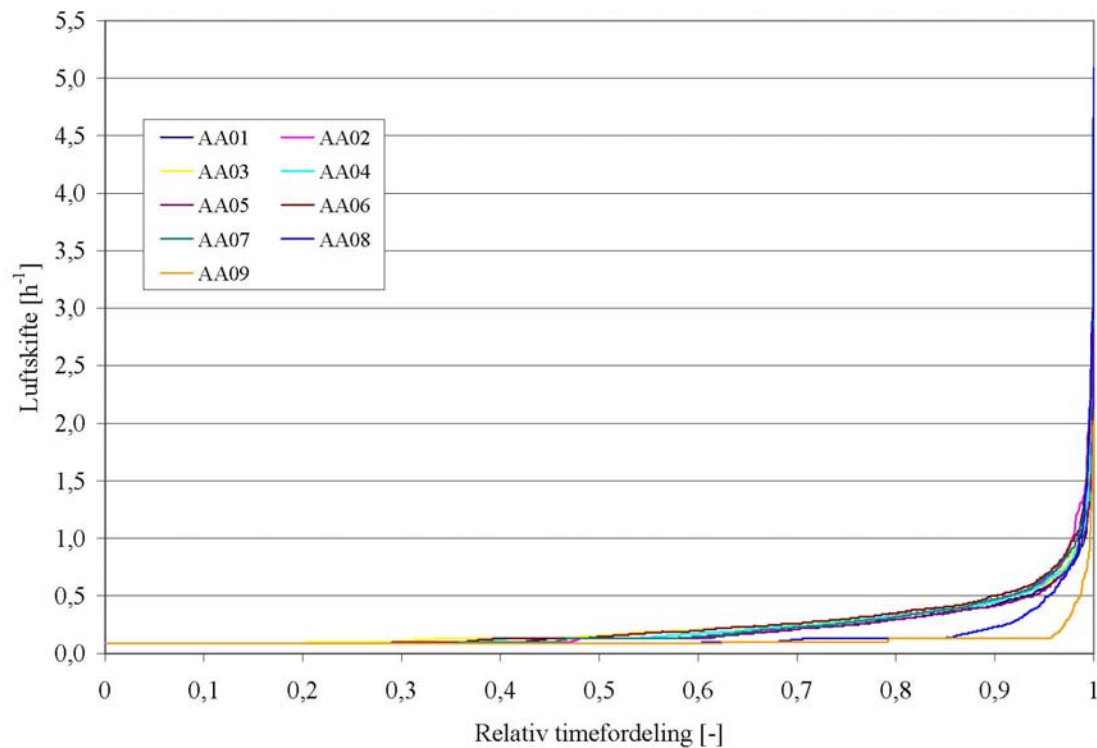
Figur 62: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om vinteren hverdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



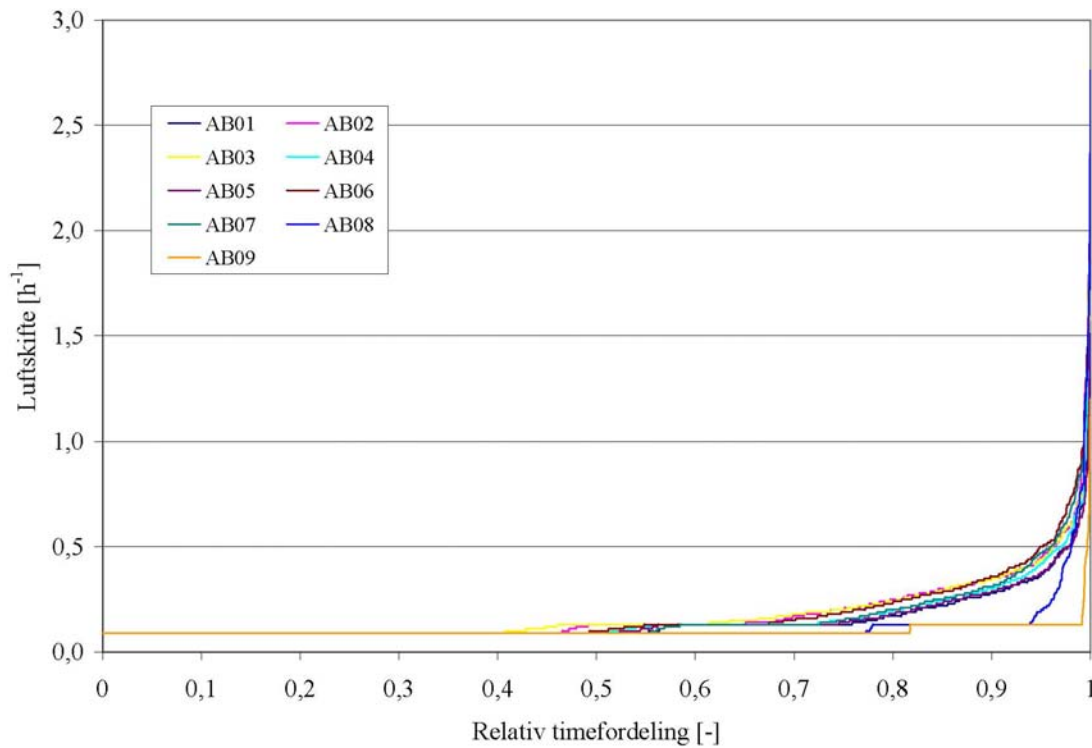
Figur 63: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om vinteren hverdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



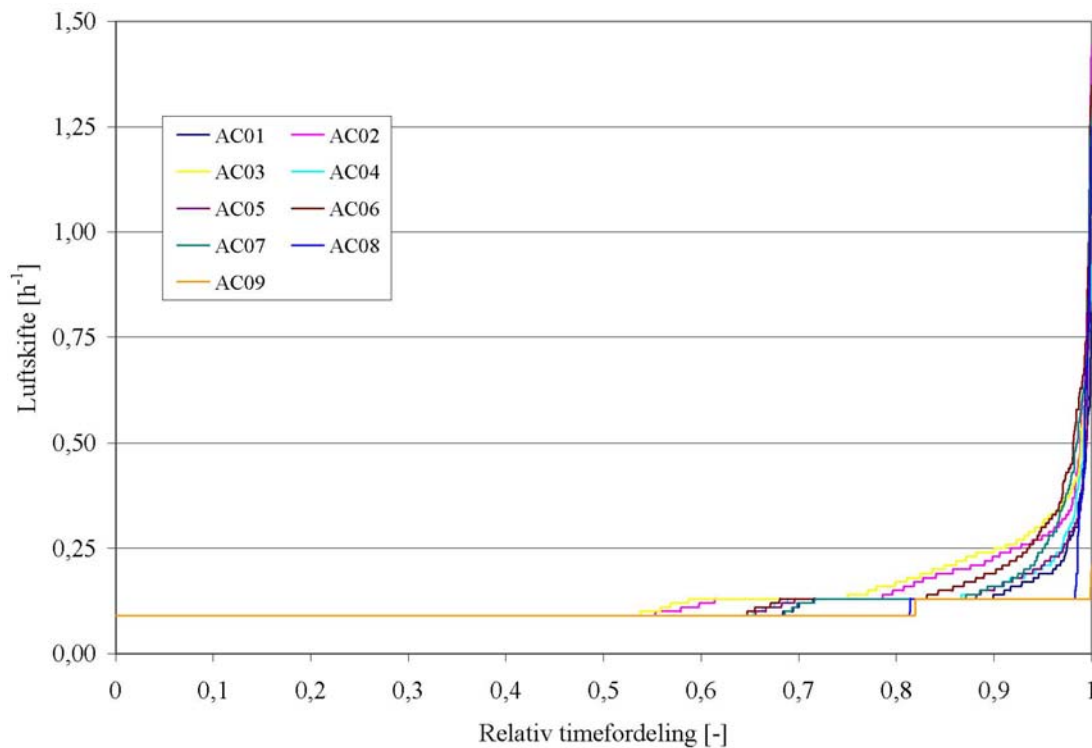
Figur 64: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om vinteren hverdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



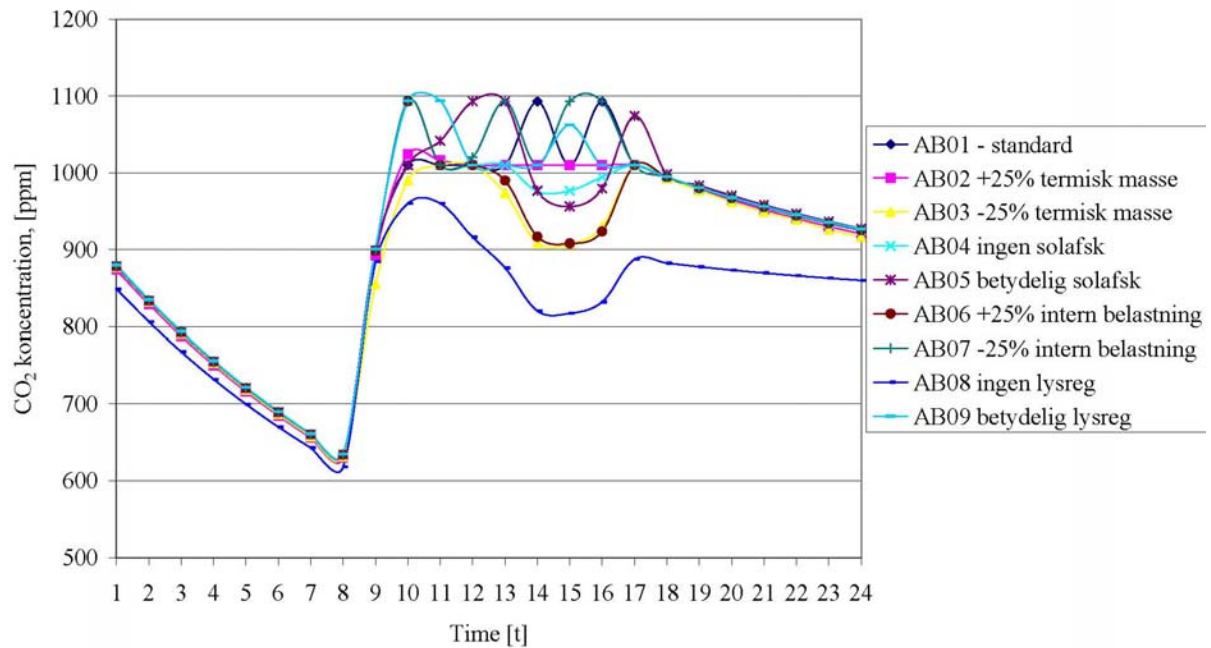
Figur 65: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om vinteren hverdage kl. 17-24 samt lørdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



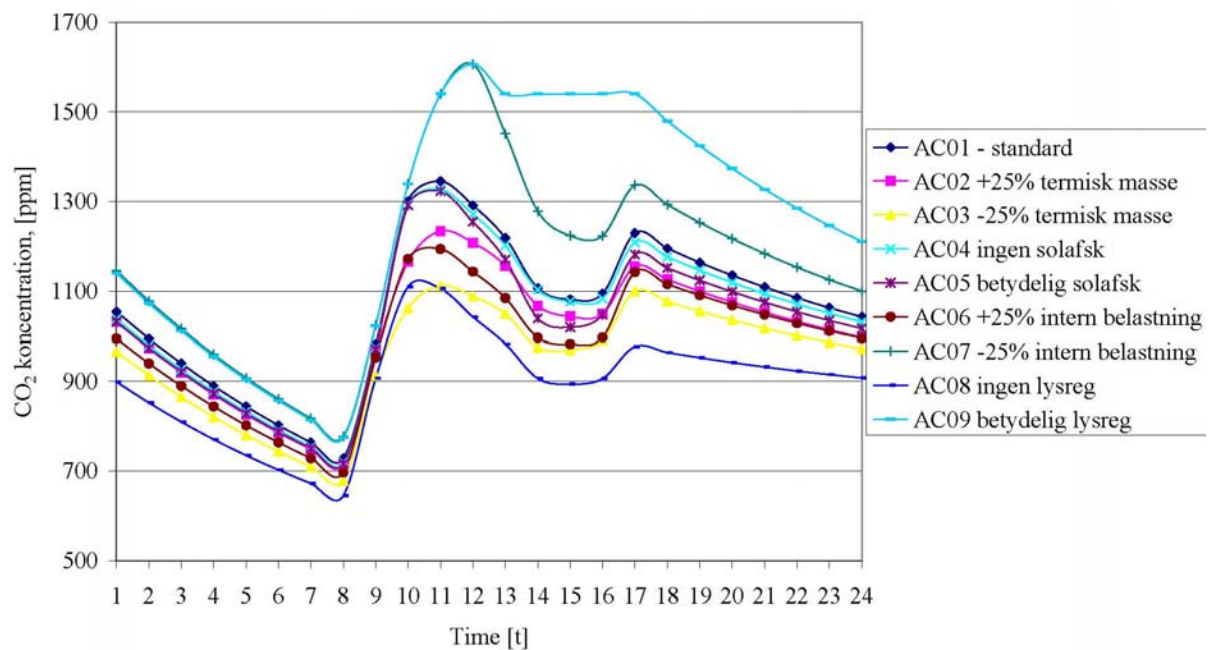
Figur 66: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om vinteren hverdage kl. 17-24 samt lørdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



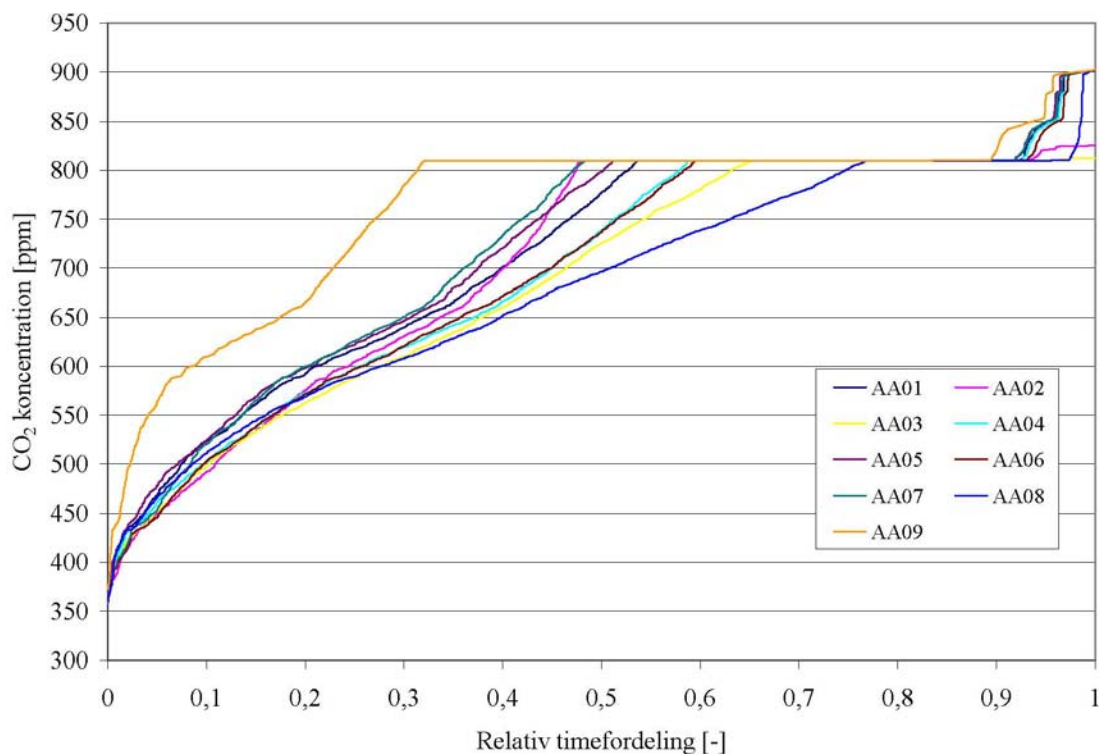
Figur 67: Varighedskurve for luftskiftet i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om vinteren hverdage kl. 17-24 samt lørdage kl. 8-17, ALFA-bygning.



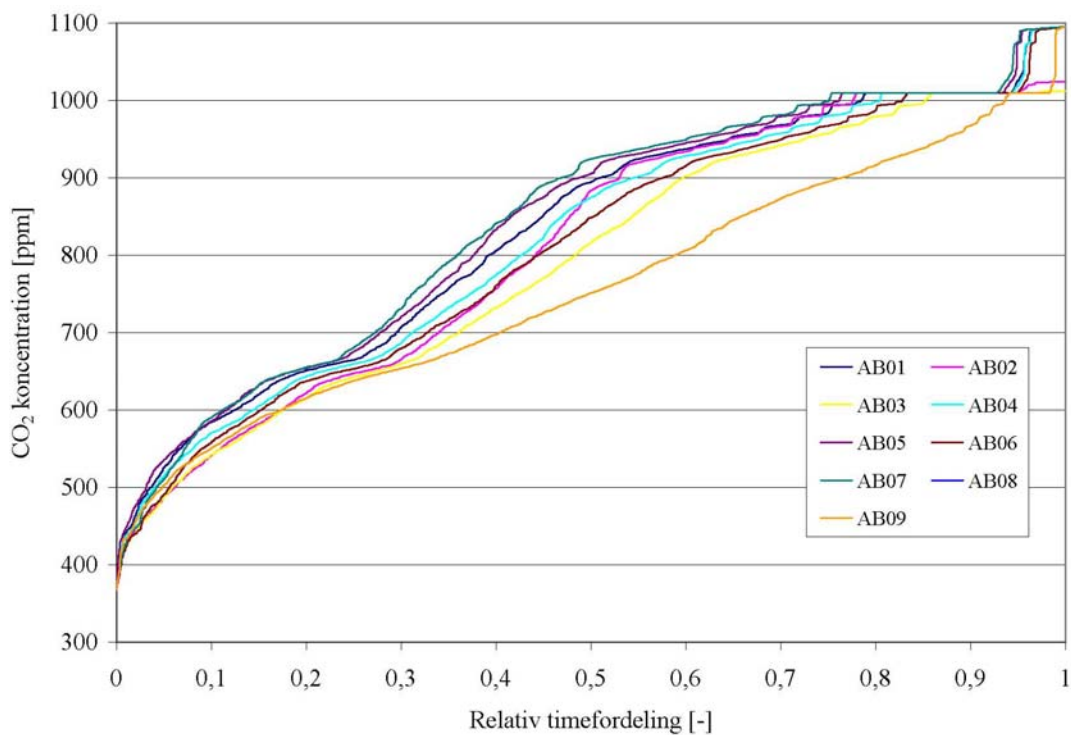
Figur 68: Udvikling af CO₂ koncentrationen for forventningsklasse B d. 29. november, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO₂ koncentration 1010 ppm.



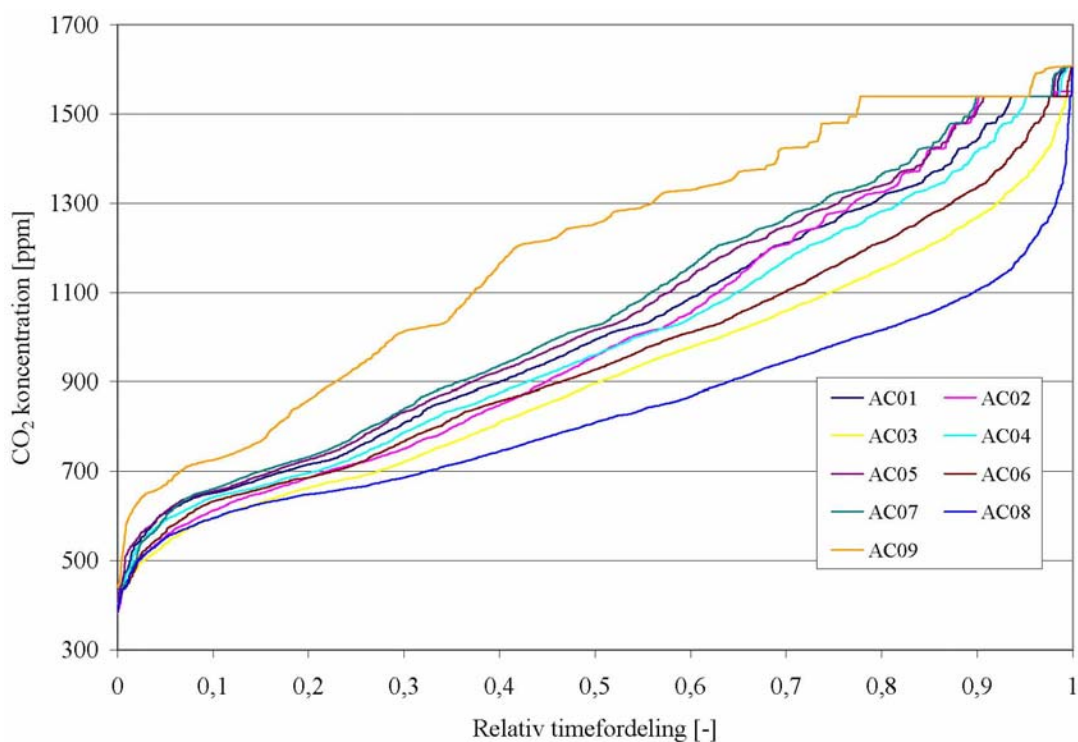
Figur 69: Udvikling af CO₂ koncentrationen for forventningsklasse C d. 29. november, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO₂ koncentration 1540 ppm.



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

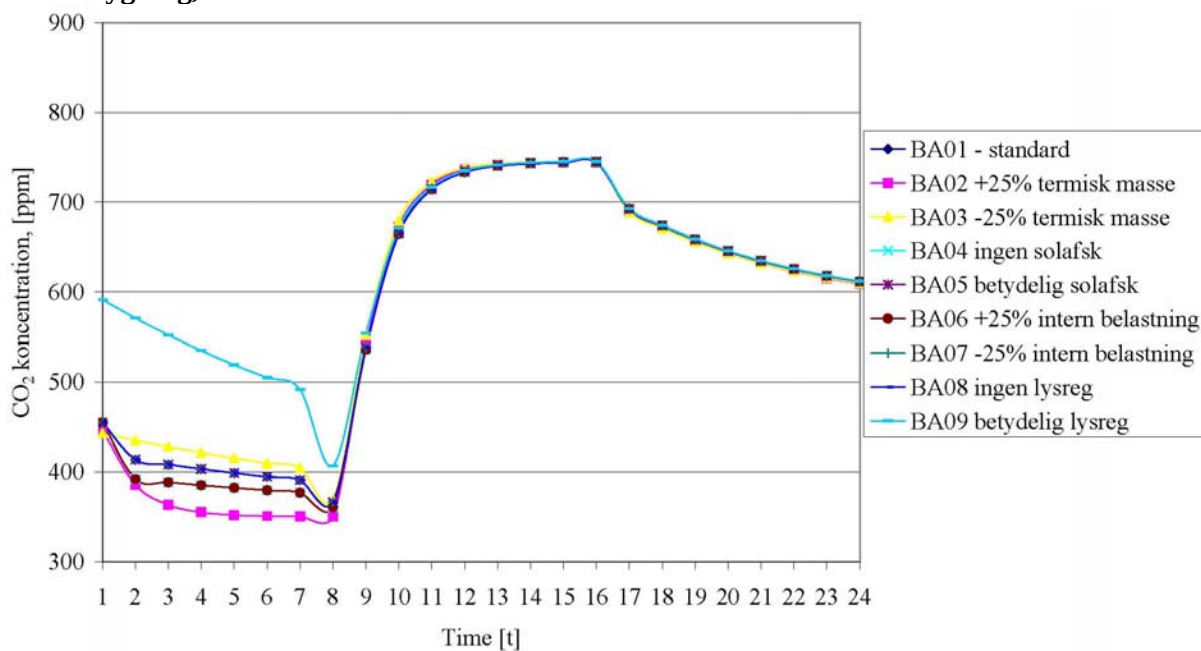


Figur 71: Varighedskurve for CO₂ koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om vinteren, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO₂ koncentration 1010 ppm.



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

BETA-bygning, sommercases



Figur 73: Udvikling af CO₂ koncentrationen for forventningsklasse A d. 13. juli, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO₂ koncentration 810 ppm.

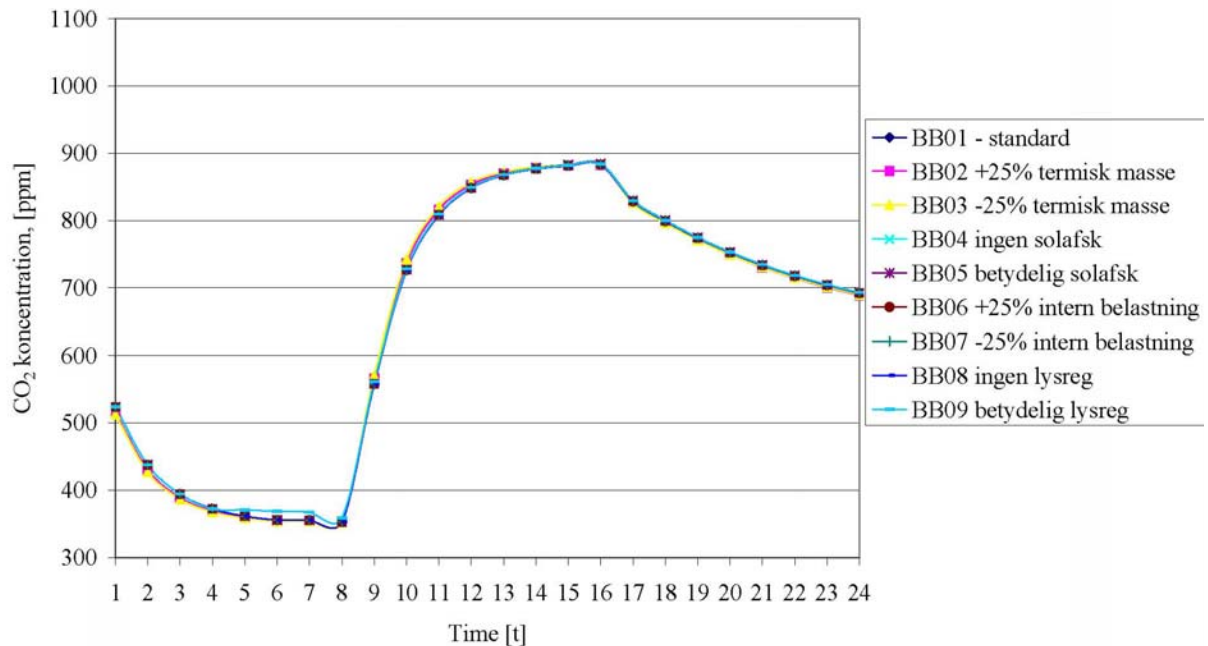


Figure 74: Udvikling af CO₂ koncentrationen for forventningsklasse B d. 13. juli, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO₂ koncentration 1010 ppm.

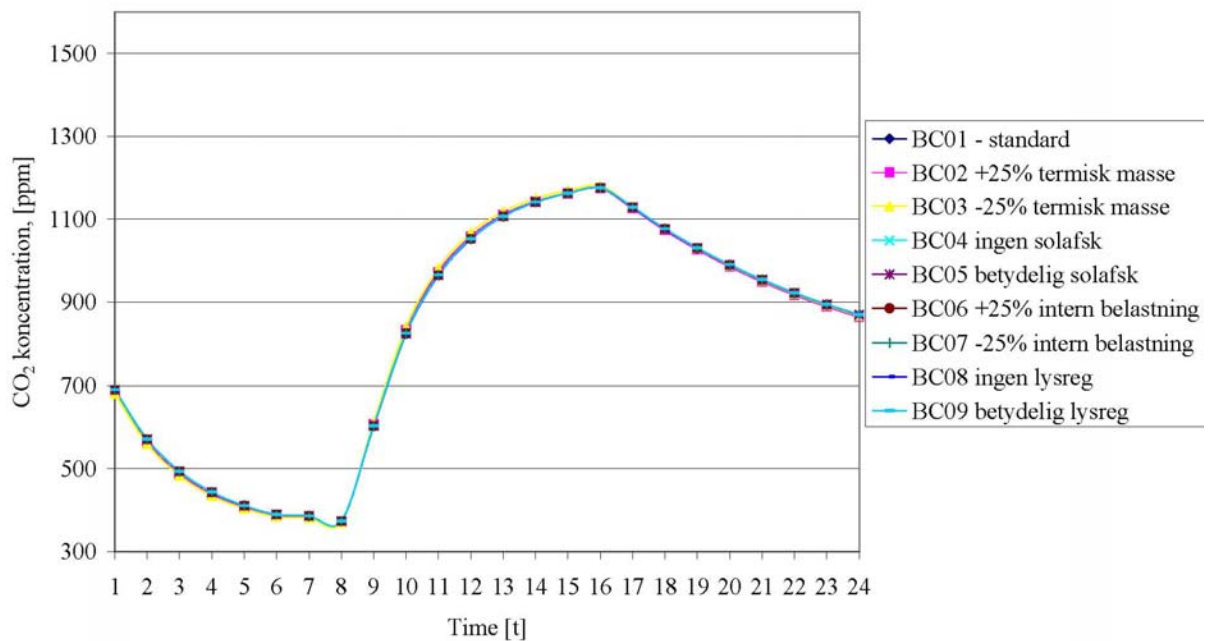
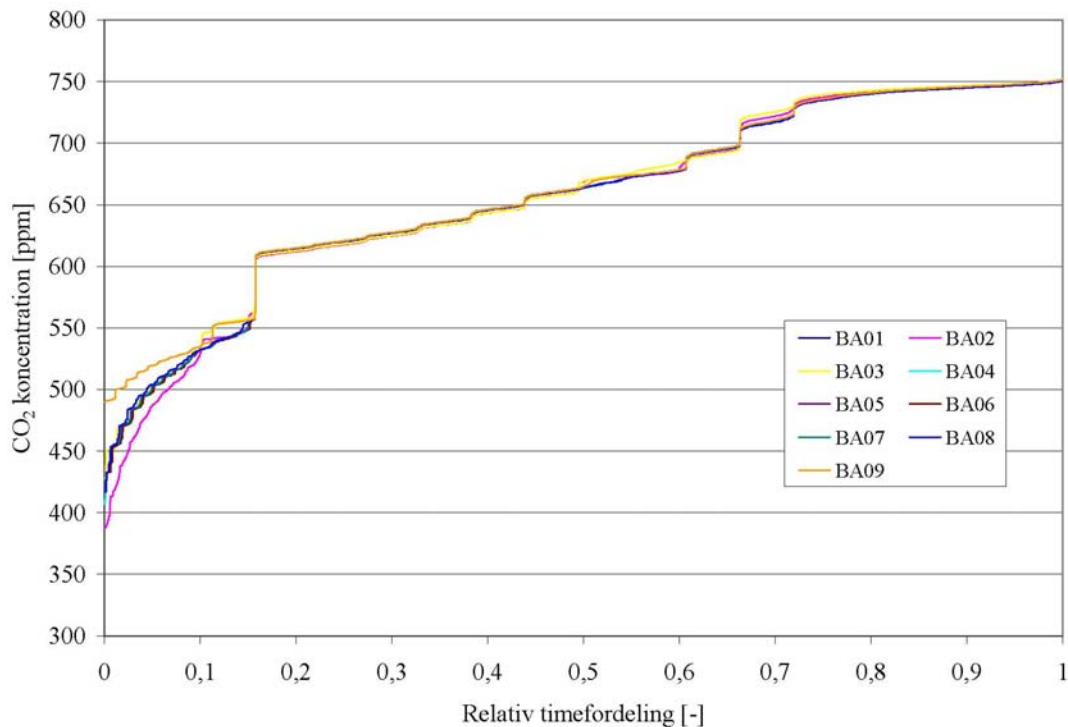
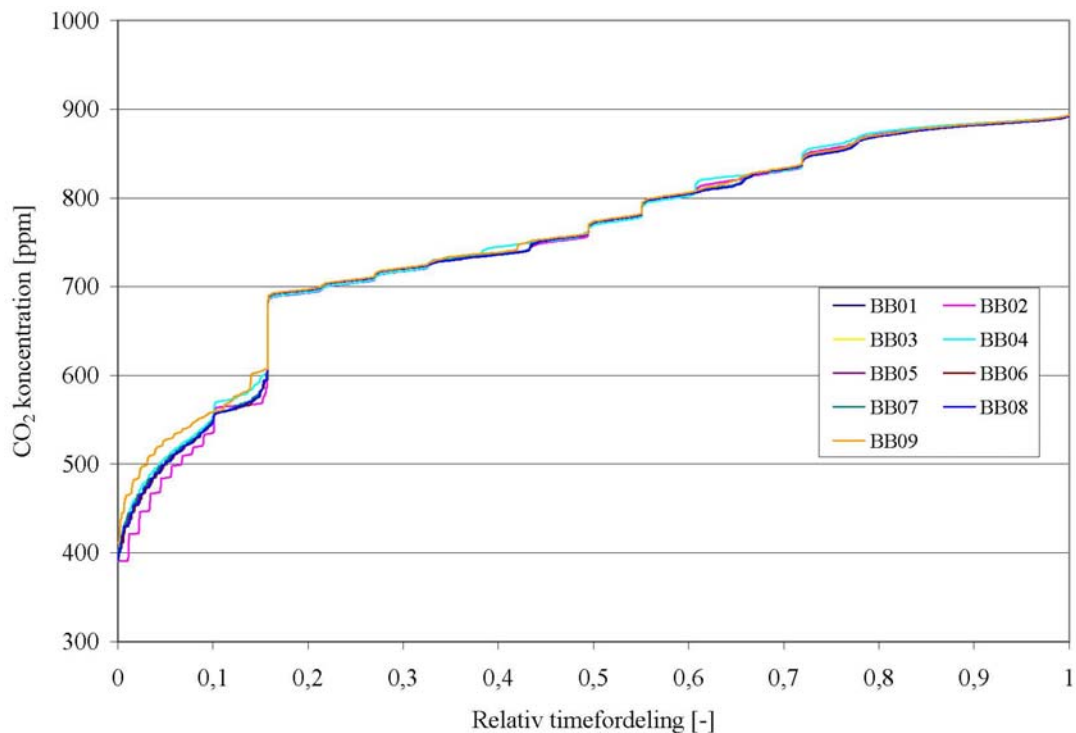


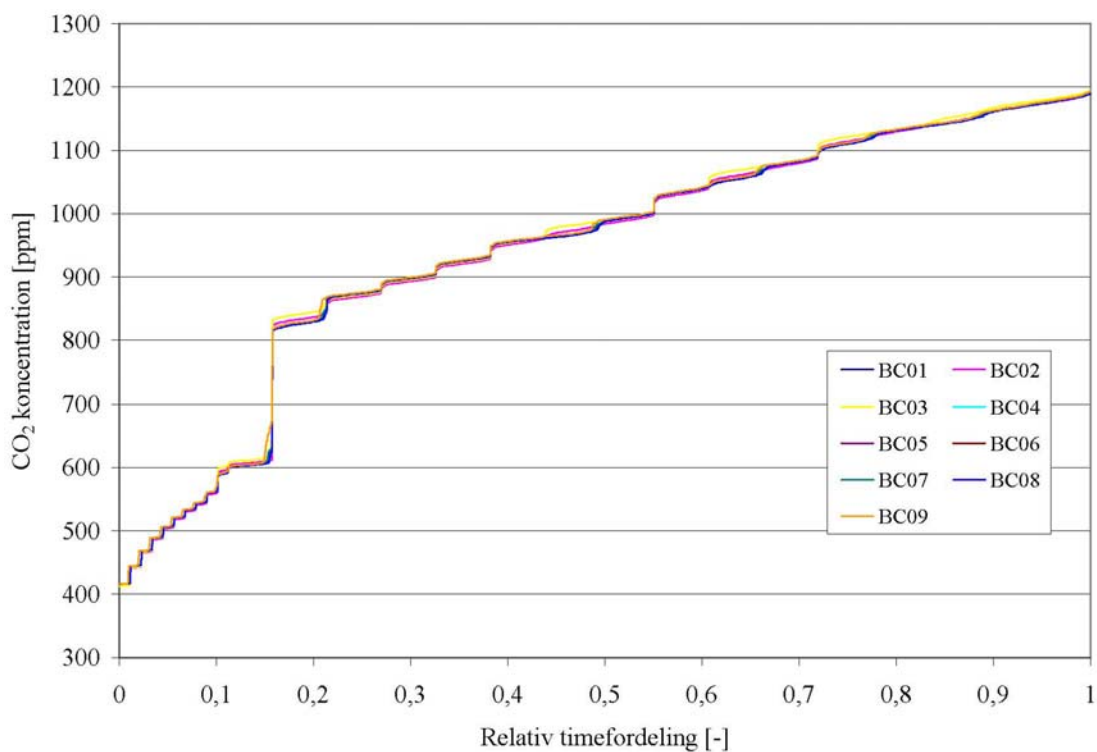
Figure 75: Udvikling af CO₂ koncentrationen for forventningsklasse C d. 13. juli, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO₂ koncentration 1540 ppm.



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

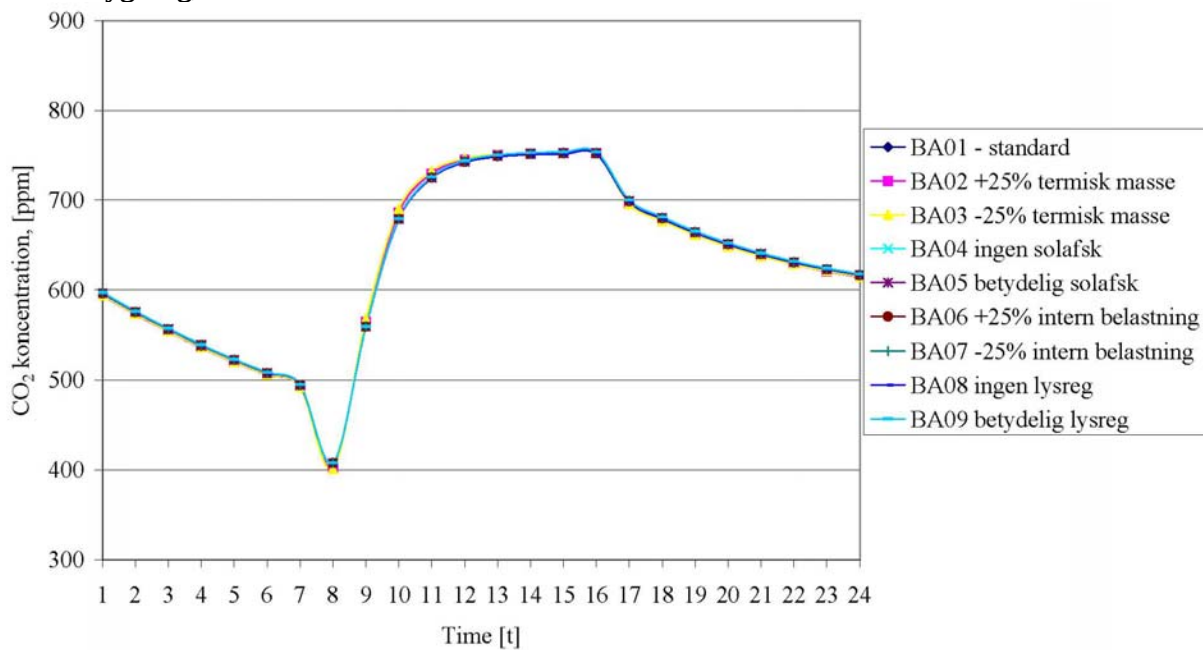


Figur 77: Varighedskurve for CO₂ koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om sommeren, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO₂ koncentration 1010 ppm.

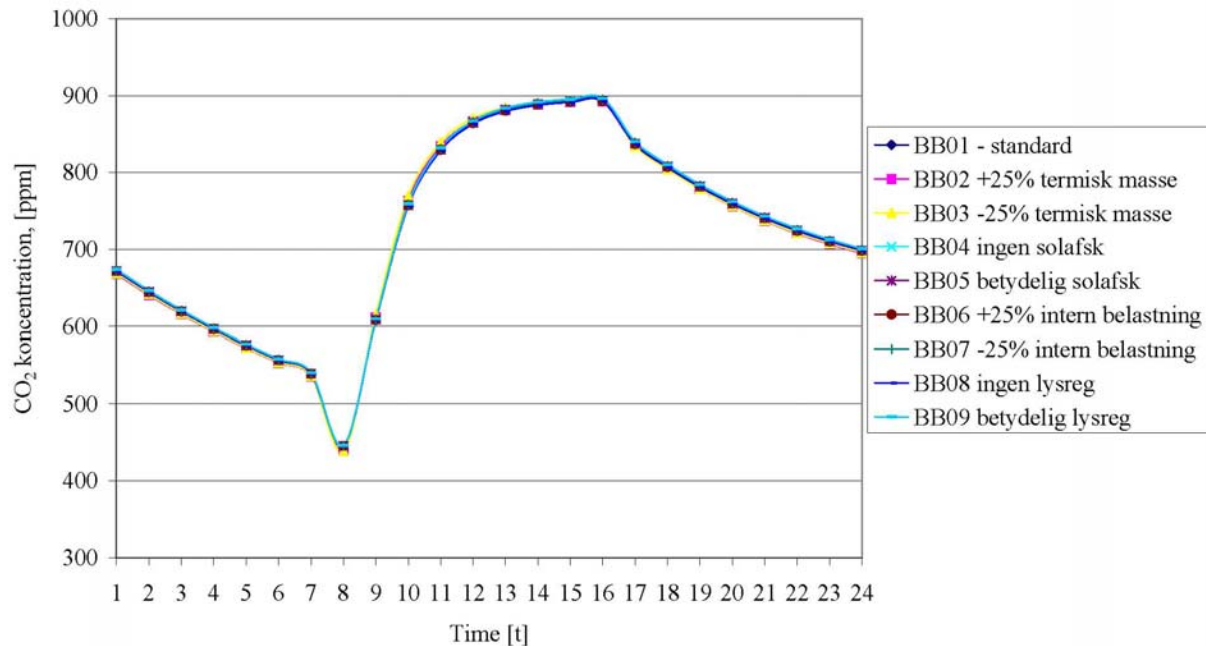


Figur 78: Varighedskurve for CO₂ koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om sommeren, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO₂ koncentration 1540 ppm.

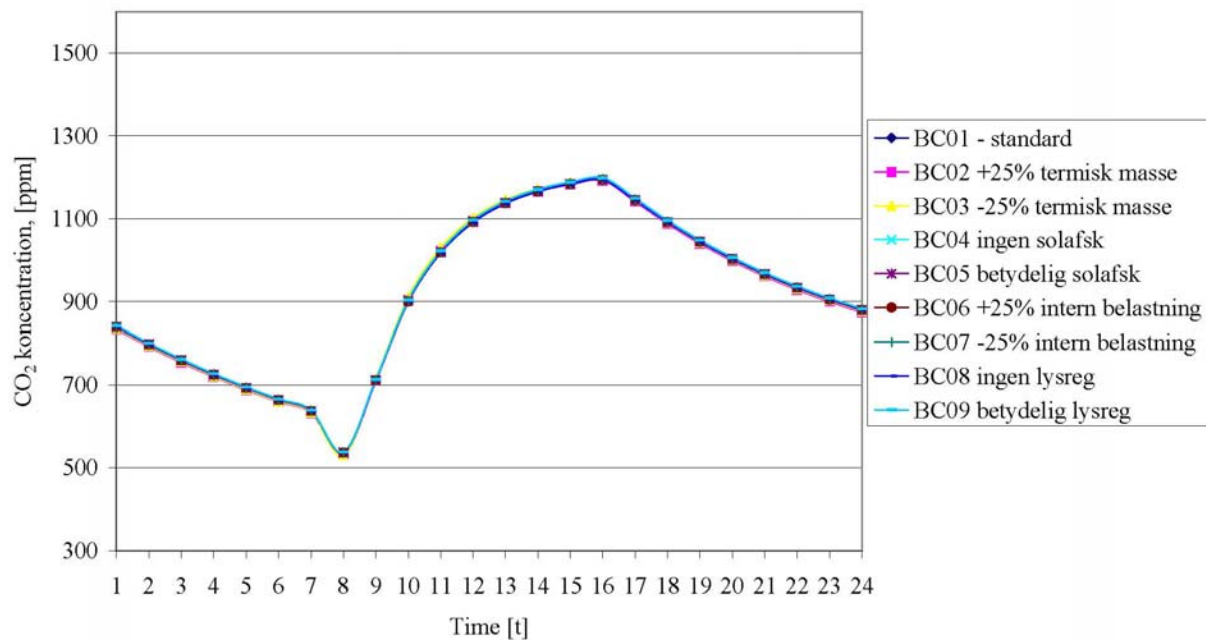
BETA-bygning, vintercases



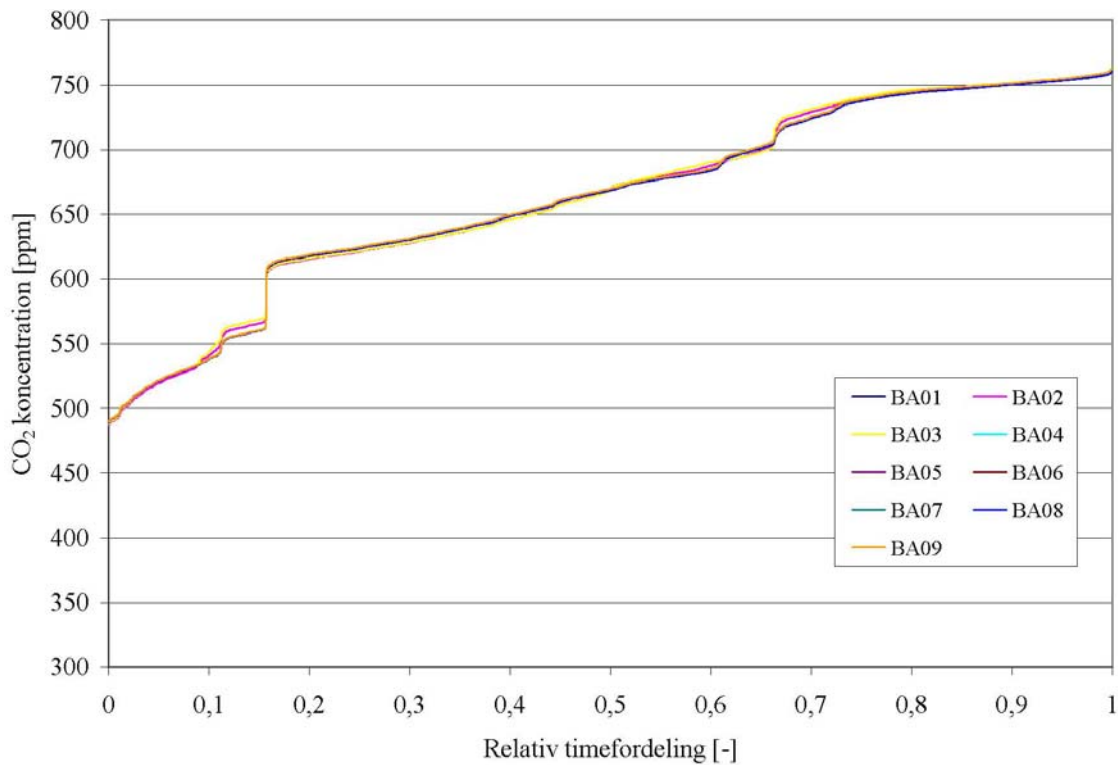
Figur 79: Udvikling af CO₂ koncentrationen for forventningsklasse A d. 29. november, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO₂ koncentration 810 ppm.



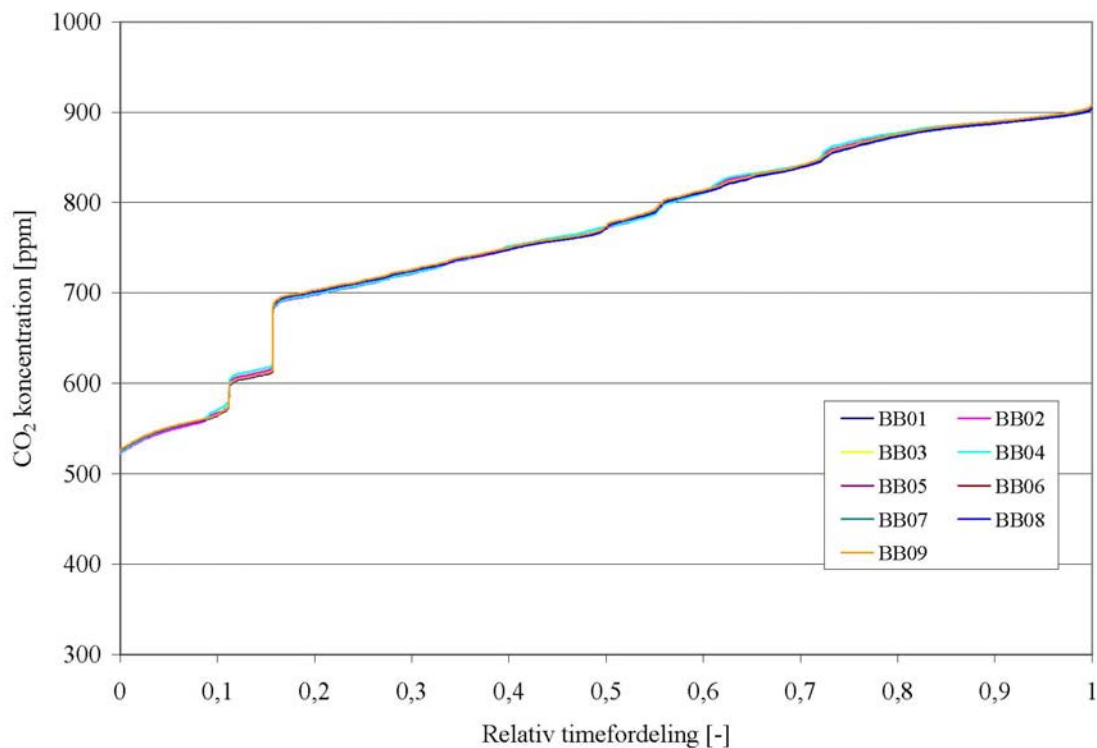
Figur 80: Udvikling af CO₂ koncentrationen for forventningsklasse B d. 29. november, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO₂ koncentration 1010 ppm.



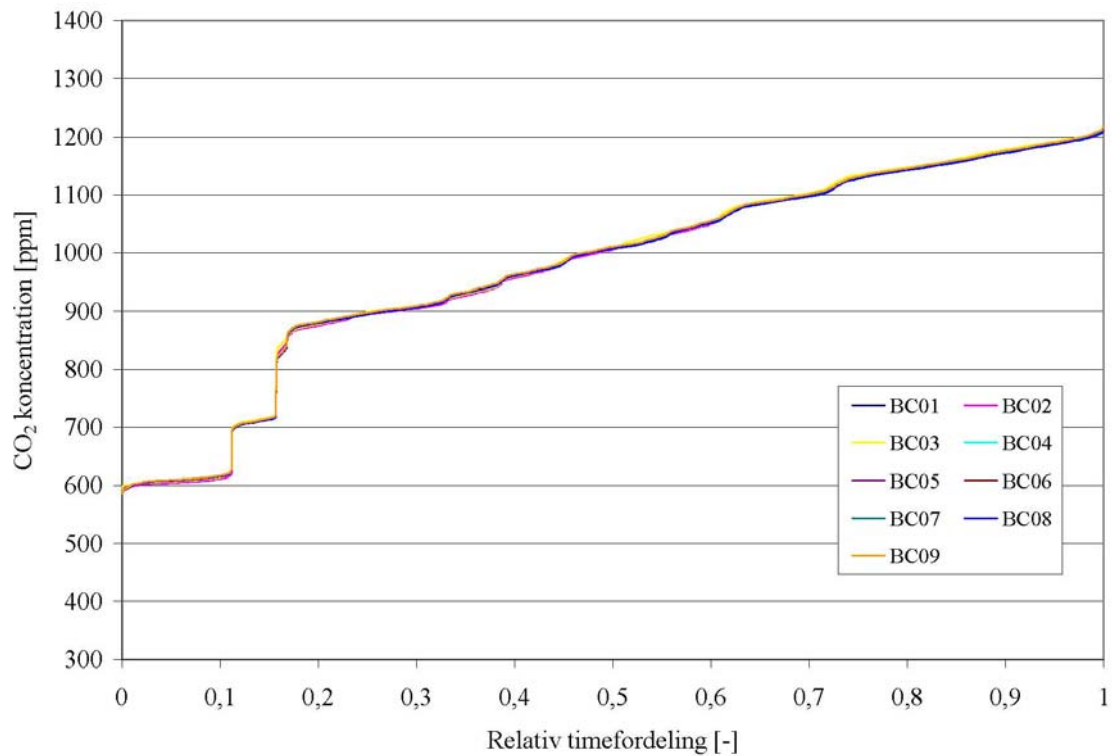
Figur 81: Udvikling af CO₂ koncentrationen for forventningsklasse C d. 29. november, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO₂ koncentration 1540 ppm.



Figur 82: Varighedskurve for CO₂ koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse A om vinteren, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO₂ koncentration 810 ppm.



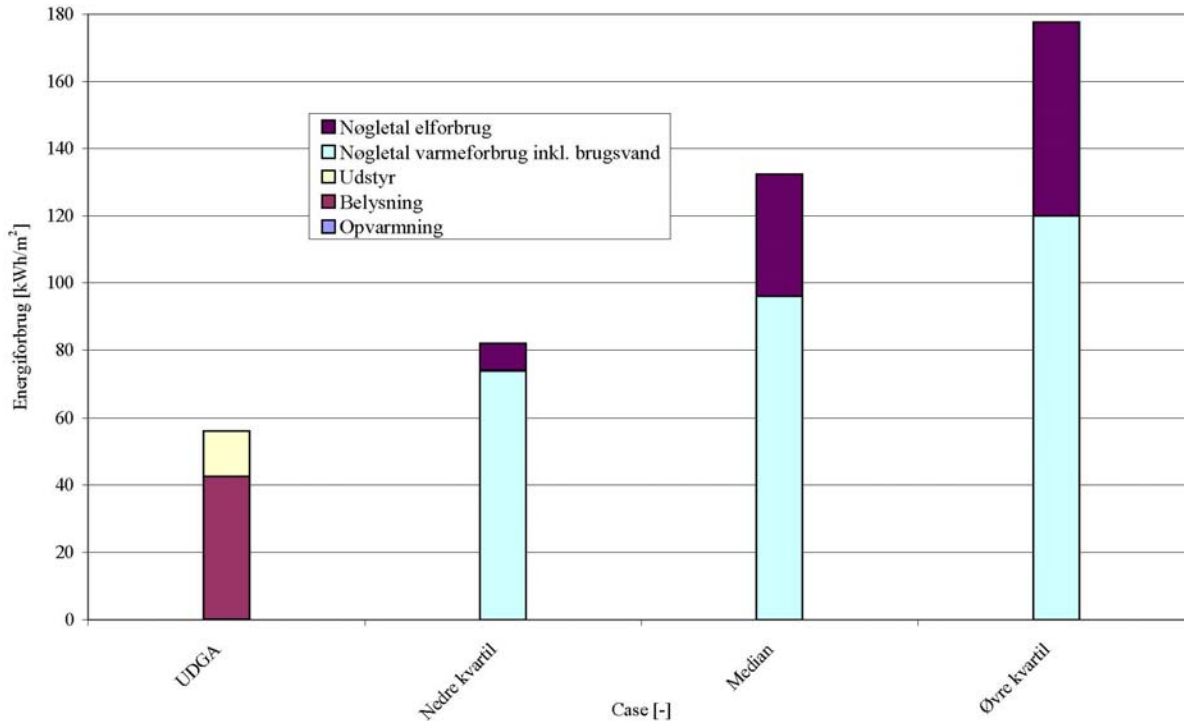
Figur 83: Varighedskurve for CO₂ koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse B om vinteren, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO₂ koncentration 1010 ppm.



Figur 84: Varighedskurve for CO₂ koncentrationen i afhængighed af parametervariation for forventningsklasse C om vinteren, BETA-bygning. Øvre grænseværdi for CO₂ 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.



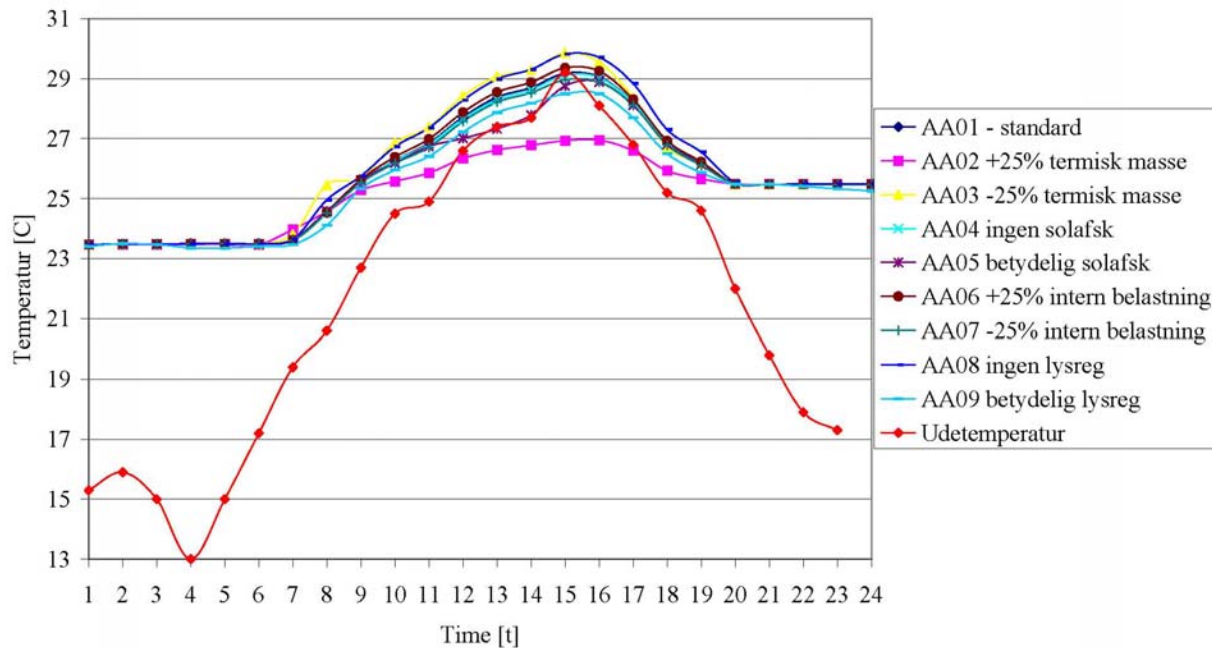
Figur 85: Forventet energiforbrug for case UDGA simuleret i BSim sammenlignet med nøgletal.

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 [h^{-1}]

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

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

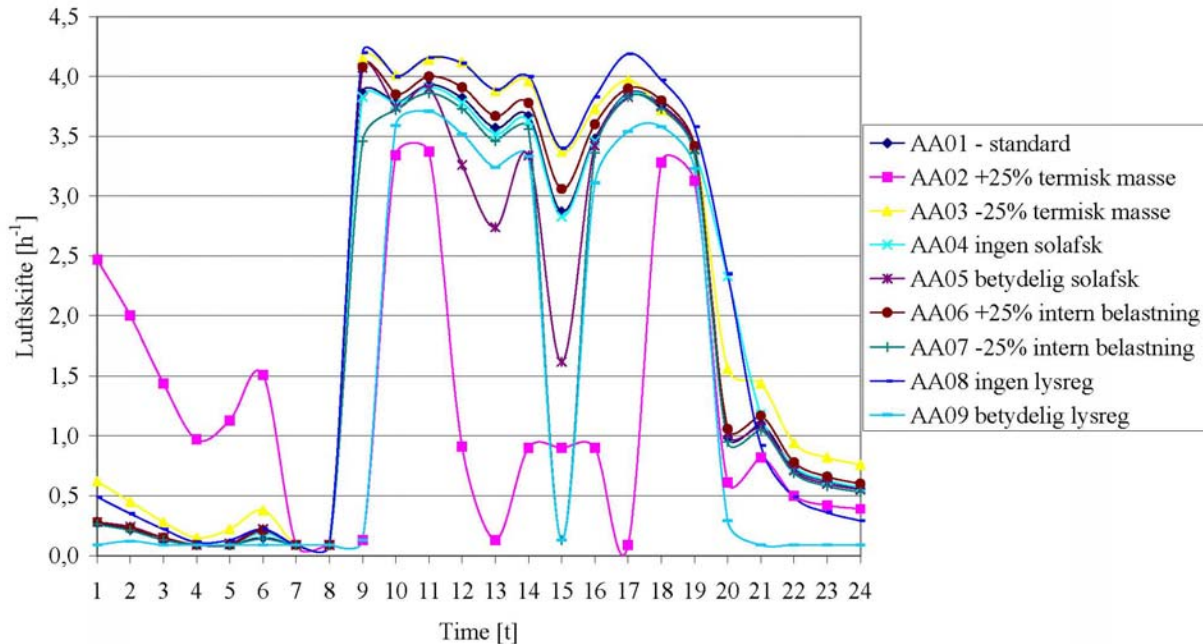
tp - temperaturpotens [-]

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 [m/s]

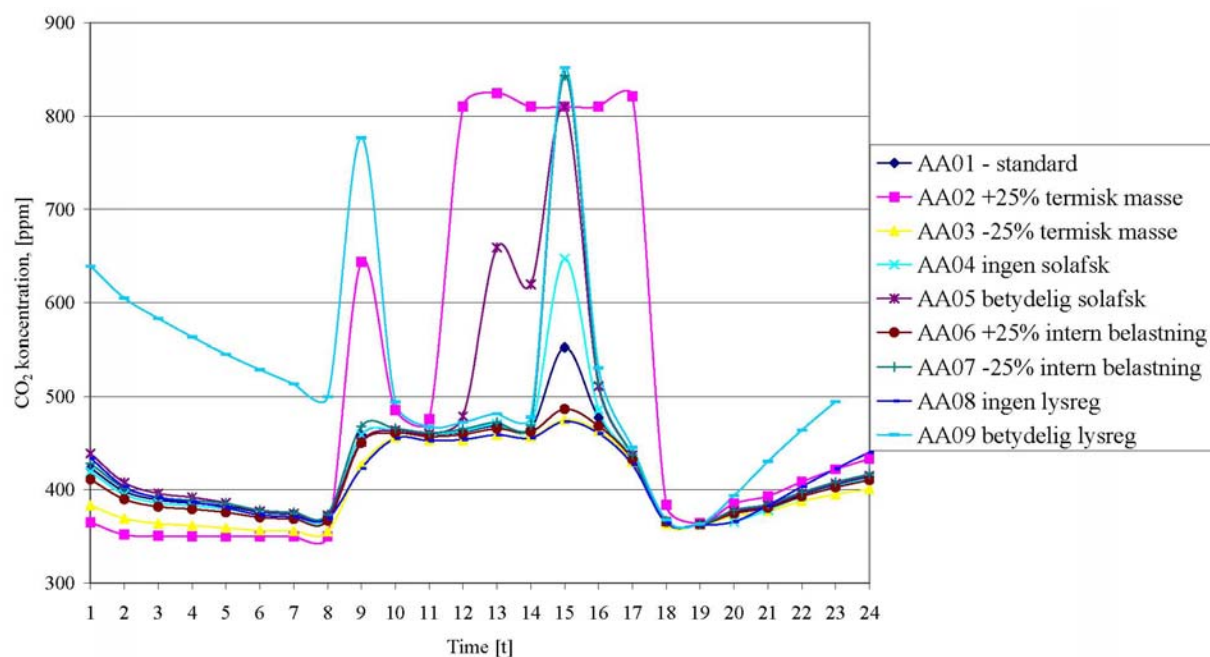
Heraf fremgår det, at hvis udetemperaturen antager en større værdi end den operative temperatur og vindhastigheden samtidig er tilstrækkelig lav kan luftskiftet antage værdien 0. Hvis dette indtræffer, vil den eneste udskiftning af luft tilskrives infiltrationen. Denne situation kan ses at indtræffe 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 CO₂ overskrider den øvre tilladelige grænseværdi.

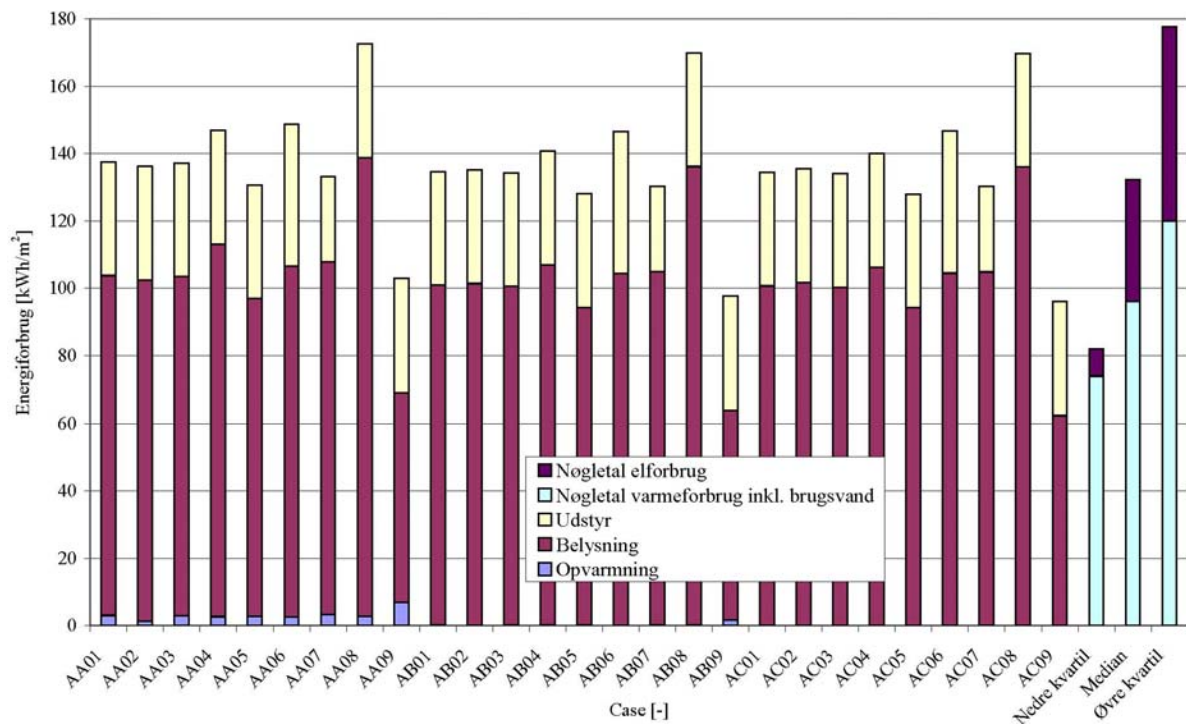
Den forventede udvikling af CO₂ koncentrationen i indeluften for d. 10. juli for ALFA-bygningen forventningsklasse A kan ses på Figur 88. Her kan det ses, at når luftskiftets størrelse antager en lavere værdi som følge af udetemperaturen er højere end den operative temperatur stiger CO₂ koncentrationen kraftigt mod den øvre tilladelige grænseværdi med overskridelse til følge.



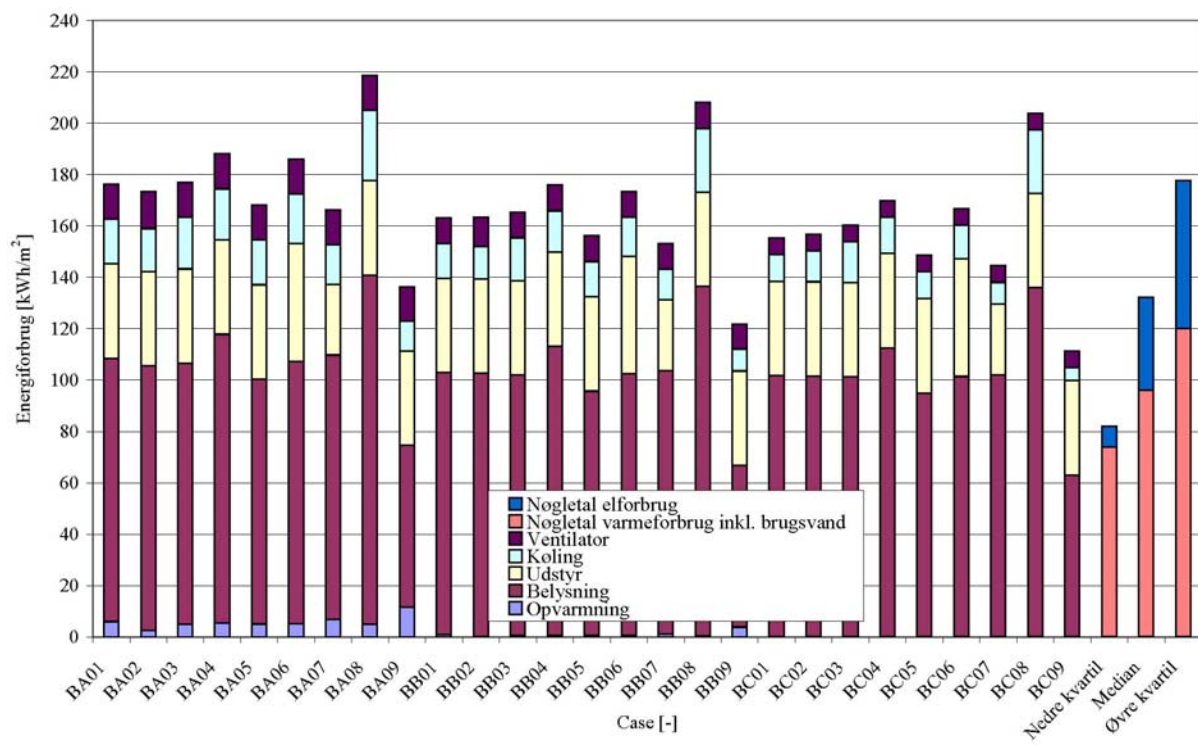
Figur 88: Udvikling af CO₂ koncentrationen for forventningsklasse A d. 10. juli, ALFA-bygning. Øvre grænseværdi for CO₂ koncentration 810 ppm.

J. Beregning af primært energiforbrug

I de følgende to figurer er det primære energiforbrug beregnet jævnfør 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.

Recent publications in the DCE Technical Report Series

DCE Technical Report; 54

Undersøgelse af Strategier for Passiv Køling. / Kobbeltgaard, A. ; Heiselberg, Per. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2008.

DCE Technical Report; 53

Night-time Ventilation Experiments : Setup, Data Evaluation and Uncertainty Assessment. / Artmann, N. ; Jensen, Rasmus Lund. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2008.

DCE Technical Report; 52

Temperature Measurements Using Type K Thermocouples and the Fluke Helios Plus 2287A Datalogger. / Artmann, N. ; Vonbank, R. ; Jensen, Rasmus Lund. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2008.

DCE Technical Report; 51

State-of-the-art Review : Vol. 2A. Responsive Building Elements : NNEX 44 : Integrating Environmentally Responsive Elements in Buildings. / Perino, Marco (Redaktør) ; Blümel, Ernst ; Haghighat, Fariborz ; Li, Yuguo ; Haase, Matthias ; Heiselberg, Per ; Olesen, Bjarne W. ; Guarracino, Gérard ; Wurtz, Etienne ; Mora, Laurent ; Xavier, Faure ; Perino, Marco ; Principi, Paolo ; Sawachi, Takao ; Yoshie, Ryuchiro ; Kato, Shinsuke ; Hori, Yuji ; Chikamoto, Tomoyuki ; Kodama, Yuichiro ; Hayashi, Tatsuya ; Ohta, Isamu ; Takahashi, Yasuo ; Hosoi, Akimori ; Andresen, Inger ; Aschehoug, Øjvind ; Hopkowitz, Marian ; Marques da Silva, Fernando ; Wahlström, Åsa ; Sandberg, Mats ; van der Aa, Ad ; Cauberg, Hans ; Imbabi, Mohammed Salah-Eldin ; Kolokotroni, Maria ; Warwick, David ; Chen, Qingyan. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2008.

DCE Technical Report; 50

State-of-the-art Review : Vol. 2B. Integrated Building Concepts : ANNEX 44 : Integrating Environmentally Responsive Elements in Buildings. / Andresen, Inger (Redaktør) ; Kleiven, Tommy (Redaktør) ; Knudstrup, Mary-Ann (Redaktør) ; Heiselberg, Per (Redaktør) ; van der Aa, Ad ; Andresen, Inger ; Asada, Hideo ; Bluemel, Ernst ; Marques da Silva, Fernando ; Haase, Matthias ; Hansen, Hanne Tine Ring ; Hayashi, Tatsuya ; Heiselberg, Per ; Hori, Yuji ; Kato, Shinsuke ; Knudstrup, Mary-Ann ; Kolarik, Jakub ; Kolokotroni, Maria ; Miura, Mitsuki ; Nishizawa, Shigeki ; Satake, Akira ; Sawachi, Takao ; Tochigi, Manabu ; Yanai, Takashi ; Yoshie, Ryuchiro ; Wahlström, Åsa ; Warwick, David. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2008.

DCE Technical Report; 49

State-of-the-art Review : Vol. 2B. Methods and Tools for Designing Integrated Building Concepts : ANNEX 44 : Integrating Environmentally Responsive Elements in Buildings. / Andresen, Inger (Redaktør) ; Kleiven, Tommy (Redaktør) ; Knudstrup, Mary-Ann (Redaktør) ; Heiselberg, Per (Redaktør) ; van der Aa, Ad ; Andresen, Inger ; Asada, Hideo ; Bluemel, Ernst ; Marques da Silva, Fernando ; Haase, Matthias ; Hansen, Hanne Tine Ring ; Hayashi, Tatsuya ; Heiselberg, Per ; Hori, Yuji ; Kato, Shinsuke ; Knudstrup, Mary-Ann ; Kolarik, Jakub ; Kolokotroni, Maria ; Miura, Mitsuki ; Nishizawa, Shigeki ; Satake, Akira ; Sawachi, Takao ; Tochigi, Manabu ; Yanai, Takashi ; Yoshie, Ryuchiro ; Wahlström, Åsa ; Warwick, David. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2008.

DCE Technical Report; 48

State-of-the-art Review : Vol. 1. State-of-the-art Report : NNEX 44 : Integrating Environmentally Responsive Elements in Buildings. / Aschehoug, Øyvind (Redaktør) ; Andresen, Inger (Redaktør) ; Andresen, Inger ; Haghighat, Fariborz ; Heiselberg, Per ; Li, Yuguo ; Olesen, Bjarne W. ; Perino, Marco ; Principi, Paolo ; Silva, Fernanda Marques da ; Yoshie, Ryuichiro ; Zhang, Jian. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2008.

DCE Technical Report; 34

Experimental Set-up and Full-scale measurements in the 'Cube'. / Kalyanova, Olena ; Heiselberg, Per. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2008.

DCE Technical Report; 33

Final Empirical Test Case Specification : Test Case DSF100_e and DSF200_e. / Kalyanova, Olena ; Heiselberg, Per. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2008.

DCE Technical Report; 32

Investigation on Smoke Movement and Smoke Control for Atrium in Green and Sustainable Buildings. / Fang, Lui ; Nielsen, Peter V. ; Brohus, Henrik. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2007.

DCE Technical Report; 30

Empirical Validation of Building Simulation Software : Modelling of Double Facades. / Kalyanova, Olena ; Heiselberg, Per. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2007.

DCE Technical Report; 29

BSim Modeler Report : Empirical Validation of Building Simulation Software : Technical Report IEA ECBCS Annex43/SHC Task 34 Validation of Building Energy Simulation Tools : Subtask E. / Kalyanova, Olena ; Heiselberg, Per. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2008.

DCE Technical Report; 28

Comparative Test Case Specification. / Kalyanova, Olena ; Heiselberg, Per. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2007.

DCE Technical Report; 27

Empirical Validation of Building Simulation Software : Modeling of Double Facades : Final Report. / Kalyanova, Olena ; Heiselberg, Per. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2008.

DCE Technical Report; 27

BSim Modeler Report : Comparative Validation of Building Simulation Software. / Kalyanova, Olena ; Heiselberg, Per. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2007.

DCE Technical Report; 26

Komponentudvikling til el-effektiv behovsstyret hybrid ventilation i boliger : Forundersøgelse. / Heiselberg, Per ; Hendriksen, Ole Juhl ; Antvorskov, Signe. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2007.

DCE Technical Report; 24

Comparative Validation of Building Simulation Software : Modeling of Double Facades : Final Report. / Kalyanova, Olena ; Heiselberg, Per. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2007.

DCE Technical Report; 13

Final Report. / Heiselberg, Per ; Brohus, Henrik ; Nielsen, Peter V.. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2006.

DCE Technical Report; 6

Empirical Test Case Specification : Test Case DSF200_e : IEA ECBCS Annex43/SHC Task 34 : Validation of Building Energy Simulation Tools. / Kalyanova, Olena ; Heiselberg, Per. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2006.

DCE Technical Report; 5

Comparative Test Case Specification : Test Cases DSF200_3 and DSF200_4 : IEA ECBCS Annex43/SHC Task 34 : Validation of Building Energy Simulation Tools. / Kalyanova, Olena ; Heiselberg, Per. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2006.

DCE Technical Report; 4

Unsteady Simulations of the Flow in a Channel Flow and a Ventilated Room Using the SST-SAS Model. / Davidson, Lars ; Nielsen, Peter V.. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2006.

DCE Technical Report; 3

Air Distribution in Aircraft Cabins Using Free Convection Personalized Ventilation. / Nielsen, Peter V.. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2006.

DCE Technical Report; 2

Free Convection Personalized Ventilation (FCPV). / Nielsen, Peter V.. Aalborg : Aalborg University. Department of Civil Engineering, 2006.

