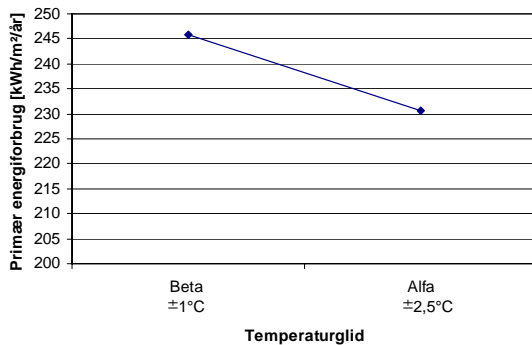
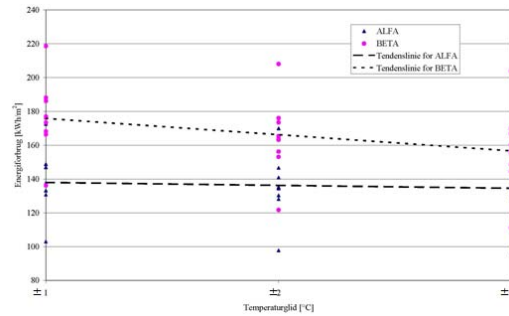


Dansk Energi Net
PSO-ELFORSK j.nr. 464-07 (projekt nr. 340-004)

Energirigtig bygningsautomation Fase 1 - Forundersøgelse

September 2009

Hovedrapport





COWI A/S

Parallelvej 2
2800 Kongens Lyngby

Telefon 45 97 22 11
Telefax 45 97 22 12
www.cowi.dk

Dansk Energi Net
PSO-ELFORSK j.nr. 464-07 (projekt nr. 340-004)

Energirigtig bygningsautomation Fase 1 - Forundersøgelse

September 2009

Hovedrapport

Dokumentnr. 01
Version 02
Udgivelsesdato 21.09.2009

Udarbejdet PKO
Kontrolleret RMH
Godkendt RMH

Forord

Projektet Energirigtig bygningsautomation Fase 1 - Forundersøgelser er støttet af Dansk Energi - Net gennem energiforskningsprogrammet PSO - F&U 2008 og gennemført af følgende projektkonsortium med COWI som projektleder:

COWI A/S:	Reto M. Hummelshøj & Peter Kaarup Olsen
AAU, Inst. for Byggeri og Anlæg:	Henrik Brohus
DTU-BYG, ICIEE:	Bjarne W. Olesen
TAC A/S:	Anders Bang Skjødt & Peter Giliamsen

Denne hovedrapport er en sammenfatning af projektets resultater, som yderligere er dokumenteret i form af en række delrapporter og datablade. Disse er vedlagt hovedrapporten som bilag.

Projektgruppen påtager sig ikke ansvar for videre brug af projektets resultater.

Henvendelse vedrørende projektet kan ske til COWI:

Reto M. Hummelshøj:	rmh@cowi.dk
Peter Kaarup Olsen:	pko@cowi.dk

September 2009

Summary

Building Automation is a significant and sometimes overlooked element of low-energy buildings to ensure large energy savings by e.g. demand control and to ensure optimised operation of ventilation system, cooling and heating system etc. in both new buildings and in modernisation of existing buildings. In the building design including installation, automation makes up a large part of the total construction costs. A rough figure is 3-500 DKK/m². It is estimated that energy-efficient building automation can reduce buildings' energy demand by about 15 kWh/m² (electricity and heating) on average.

Based on this possible reduction of building energy demand, the project deals with optimisation of control/adjustment of building installations for lighting, heating, cooling and ventilation systems. An investigated key parameter is how much it will be okay for the room temperature to "glide" (change) during the occupied hours in a heavy and a light office building, and how this will influence the energy demand and the sensation of the indoor climate. The project shows that it is possible to save about 15 kWh/m² primary energy by letting the temperature "glide" $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ during the daily occupied hours instead of $\pm 1^{\circ}\text{C}$. With this operation philosophy, the building constructions' thermo-active capacity can be utilised better, and there will be less requirements for automation and operation of the climate system.

In the project is assessed how large a zone area can be covered by typical sensors in order to maintain a satisfactory indoor climate and the corresponding energy demand. The electricity consumption for building automation may account for up to 6 kWh/m² per year.

The project has made a preliminary basis for indicating a good practice for 1) automation of buildings with a view to good indoor climate and a low energy demand and 2) necessary equipping with meters to be able to document energy savings and energy consumption with specific focus on division of electricity consumptions.

Two hypotheses/development goals have been confirmed:

- It is possible to obtain a good/better indoor climate and lower energy demand with simplified automation solutions.
- Much energy can be saved with methods for more flexible specifications for indoor climate and comfort zones.

Resumé

Bygningsautomationen er et væsentligt, til tider overset, element i lavenergi-byggeri for at sikre store energibesparelser bl.a. ved behovsstyring og ved at sikre en optimal drift af ventilationsanlæg, køle-/varmeanlæg mv. i såvel ny-byggeri som ved modernisering af eksisterende byggeri. Ved projektering af bygningsinstallationer udgør automation en stadig større andel, og der anvendes ofte 3-500 kr./m² hertil i anlægsomkostninger. Det vurderes, at energirigtig bygningsautomation i gennemsnit kan reducere bygningers energiforbrug med omkring 15 kWh/m² ligeligt fordelt på el og varme.

Projektet tager udgangspunkt i denne mulige reduktion af bygningers elforbrug og andet energiforbrug ved optimering af reguleringen af bygningsinstallationer til belysning, varme- og ventilationsanlæg m.v. En nøgleparameter er, hvor meget man kan lade rumtemperaturen glide i løbet af brugstiden i en let og en tung bygning, og hvilken indflydelse det får på oplevelsen af indeklimaet og energiforbruget.

Projektet viser, at der kan spares ca. 15 kWh/m² i primærenergiforbrug ved at lade temperaturen glide $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ over den daglige brugstid i stedet for $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Med denne driftsfilosofi udnyttes bygningsdelenes varmeakkumulerende egenskaber bedre, og der stilles mindre krav til automation og drift af klimatiseringsanlæg.

Det er også vurderet, hvor stort et zoneareal der kan dækkes med typiske sensorer for at opretholde et tilfredsstillende indeklima og det dertil forbundne energiforbrug. Elforbruget til bygningsautomation kan udgøre op til 6 kWh/m² pr. år.

Projektet har skabt et foreløbigt grundlag for at kunne anvise en god praksis for 1) automatisering af bygninger med sigte på godt indeklima og lavt energiforbrug og 2) nødvendig bestykning med målere for at kunne dokumentere energibesparelser og energiforbrug med særlig fokus på opdeling af elforbrug.

Projektet har bekræftet 2 hypoteser/udviklingsmål:

- Der kan opnås et godt/bedre indeklima og lavere energiforbrug med forenkede automationsløsninger.
- Der kan spares meget energi med metoder for en mere fleksibel specifikation af indeklimakrav og komfortzoner.

Indholdsfortegnelse

Forord	1
Summary	2
Resumé	3
1 Indledning	6
1.1 Baggrund og idé	6
1.2 Formål	8
1.3 Projektet og det videre arbejde	8
2 Problemformulering	10
2.1 Krav om godt indeklima	10
2.2 Potentiale for besparelser	10
2.3 Observerede problemstillinger	11
3 Indeklimakategorier og ALFA-BETA koncept	12
3.1 Indeklimakategorier	12
3.2 ALFA-BETA konceptet	14
4 Fleksible komfortkrav	16
5 Moderne kontorbyggeri - to eksempler	18
6 Eksempel 1 - Dan-Ejendommens kontorbygning	19
6.1 Bygningsbeskrivelse	19
6.2 Driftserfaringer	21
6.3 Målt energiforbrug	22
6.4 Indeklima	24
6.5 Simulering med BSim	28
6.6 Energiforbrug versus temperaturglid	34

7	Eksempel 2 - Københavns Energis kontorbygning	35
7.1	Bygningsbeskrivelse	35
7.2	Driftserfaringer	38
7.3	Målt energiforbrug	38
7.4	Indeklima	41
7.5	Simulering med BSim	46
7.6	Energiforbrug versus temperaturglid	57
8	Perspektiver og konklusioner	59
9	Anbefalinger	63
9.1	God praksis for optimeret og energirigtigt bygningsdesign og -automatik	64
9.2	Optimeret styring og styringsstrategi	69
9.3	God praksis for Intelligente Bygnings Installationer (IBI)	70
9.4	Stort besparelspotentiale i elforbrug til it-serverum og køling/ventilation mv.	72
10	Formidling	74
11	Demonstration (fase 2) - forslag til videre arbejde	75
12	Referencer	76
13	Appendiksrapport	77

Bilagsfortegnelse

Appendiks 1	Besigtelsesreferat for Dan-Ejendommens kontorbygning
Appendiks 2	Besigtelsesreferat for Københavns Energis kontorbygning
Appendiks 3	BSim analyse af Dan-Ejendommens kontorbygning
Appendiks 4	BSim analyse af Københavns Energis kontorbygning - rapport
Appendiks 5	BSim analyse af Københavns Energis kontorbygning - bilagsrapport
Appendiks 6	Indeklima- og energi undersøgelse af Dan-Ejendommens kontorbygning
Appendiks 7	Indeklimaundersøgelse af Københavns Energis kontorbygning
Appendiks 8	"TAC News" om besparelspotentiale
Appendiks 9	Egetforbrug for automatikløsninger

1 Indledning

Denne rapport sammenfatter resultaterne af PSO-projektet Energirigtig Bygningsautomation. For et hurtigt overblik henvises til resumé først i rapporten.

1.1 Baggrund og idé

Bygningsautomationen er et væsentligt til, tider overset, element i lavenergi-byggeri for at sikre store energibesparelser bl.a. ved behovsstyring og ved at sikre en optimal drift af ventilationsanlæg, køle-/varmeanlæg mv. i såvel ny-byggeri som ved modernisering af eksisterende byggeri. Ved projektering af bygningsinstallationer udgør automation en stadig større andel, og der anvendes ofte 3-500 kr./m² hertil. Energirigtig bygningsautomation er dog vigtig for at reducere bygningers energiforbrug.

Projektet tager udgangspunkt i den mulige reduktion af bygningers elforbrug og andet energiforbrug ved optimering af reguleringen af bygningsinstallationer til belysning, varme- og ventilationsanlæg m.v. Herunder vurderes det, hvor meget styring der egentlig er behov for, for at opretholde et tilfredsstillende indeklima og forbedre bygningernes energimæssige ydeevne.

En baggrundserfaring er, at færre følere og regulatorer m.v. brugt på den rigtige måde er bedre end meget styringsudstyr, som ikke er optimeret. Men en avanceret bygning har naturligvis også en god, måske bedre ydeevne, hvis anlægget er optimeret. Det er relevant at vurdere bygningsautomation i forhold til forskellige indeklimakrav.

Projektet skaber et grundlag for at kunne anvise en god praksis for 1) automatisering af bygninger med sigte på godt indeklima og lavt energiforbrug og 2) nødvendig bestyknings med målere for at kunne dokumentere energibesparelser og energiforbrug med særlig fokus opdeling af elforbrug.

I projektet forfølges 2 hypoteser / udviklingsmål:

- Der kan opnås et godt/bedre indeklima og lavere energiforbrug med forankrede automationsløsninger.
- Der kan spares meget energi med metoder for en mere fleksibel specifikation af indeklimakrav og komfortzoner.

I dette projekts fase 1 (forberedende for senere demonstration) testes hypoteserne med gennemgang af udvalgte bygninger, interview med driftspersonale og understøttende simuleringer.

Baggrunden for at se nærmere på mere fleksible indeklimakrav er en ny trend kaldet "CoolBiz" (og "WarmBiz"). Denne trend blev omtalt på Healthy Buildings 2006 konferencen (HB 2006) og går ud på, at der åbnes op for en mere fleksibel specifikation af indeklimaet og komfortzoner ved, at der i højere grad styres efter udeklimaet. Igangsætningen af denne trend kan bl.a. tilskrives Japan, hvor den japanske premierminister i 2005 som et led i landets klimastrategi var talsmand for at medarbejdere via deres påklædning og tilpasning kan reducere behovet for energi brugt til opvarmning og især køling under varme somre ved at smide jakke og slips. Begrebet CoolBiz dækker i Japan primært over en reduktion af kontorbyggeriets energiforbrug, men har også ført til et mere afslappet påklædningskodeks.

Undersøgelser præsenteret på HB 2006 viser, at mennesker over 2-4 dage bl.a. i valg af beklædning relativt uproblematisk tilpasser sig ændrede indeklimabetingelser. Dvs. at temperaturglidning over dagen kan tillades, bare det sker gradvist, hvilket selvsagt giver muligheder for store energibesparelser frem for at styre efter f.eks. 22 grader konstant lufttemperatur, som ikke er unormalt.

Undersøgelser viser også, at det potentielle problem med faldende menneskelig produktivitet ved højere temperaturer kan imødekommes og kompenseres ved strålingskøling (og dermed holde den operative temperatur i komfortintervallet) eller ved energieffektiv naturlig ventilation eller eventuelt ved personlig ventilation (højere lufthastigheder i nærzonen med lokal tilførsel af friskluft).

Den nye trend, hvor der ved kravspecifikation til indeklima også tages hensyn til den enkelte bygnings energiforbrug, forventes fortsat at vinde indpas i fremtidige normer på området.

I den internationale standard EN ISO 7730 er det allerede gjort ved at specificere særskilte krav for vinter (opvarmningssæsonen, højere beklædningsisolering ~ 1 clo) og sommer (kølesæson, lavere beklædningsisolering ~ 0,5 clo). Herved gives der mulighed for store energibesparelser.

EU-normen EN15251 giver mulighed for at stille indeklimakrav i flere klasser og har et særskilt afsnit omkring bygninger uden mekanisk køling. På ICIEE DTU er der netop gennemført undersøgelser på personers komfort ved temperaturændringer i løbet af dagen, ligesom ICIEE har belyst sammenhængen med personers produktivitet. Her viser det sig, at en ændring af rumtemperaturen i løbet af dagen inden for komfortzonen accepteres. Daglige temperaturvariationer er vigtige for optimal udnyttelse af en bygnings termiske masse.

EU normen EN13790 for energiberegning af køle-varmebehovet giver mulighed for at tage højde for årstidsvariationer og temperaturvariationer over dagen. Dette vil kunne give store besparelser ikke kun i energiforbrug, men også i maksimumbelastninger, dvs. besparelser både i anlæg og driftsudgifter.

Bygninger med klimatilpasset arkitektur, der i højere grad følger udeklimaet, kaldes i CoolBiz terminologien for ALFA-bygninger, mens bygninger med behov for strengere komfortkrav/flere installationer grundet høj intern belastning (af IT, personer eller solindfald) kaldes BETA-bygninger. Begge bygningstyper kan udføres som lavenergibygninger og vil også fremover leve side om side; men den grundlæggende styrings- og reguleringsfilosofi og opbygning af installationerne er forskellig.

Projektet giver ikke køb på indeklimakomfort og menneskelig produktivitet, men søger at finde optimale løsninger, der tilgodeser komfort såvel som lavt energiforbrug.

I en efterfølgende Fase 2 (Demonstration) vil de løsninger, som vurderes at være bedste praksis for henholdsvis ALFA- og BETA-bygninger, blive afprøvet, målt og dokumenteret med udgangspunkt i konkrete bygninger/byggerier.

1.2 Formål

Det er projektets mål at undersøge og udvikle bedre metoder for energirigtig bygningsautomation og udbrede brugen heraf, herunder at undersøge betydningen af en mere fleksibel specifikation af indeklimakrav i forhold til udeklima, som et virkemiddel til at opnå lavere energiforbrug. Projektet vil med udgangspunkt i 2 forskellige bygninger undersøge sammenhænge mellem fleksible indeklimakrav, reguleringsfilosofi, energiforbrug og omkostninger.

Projektet vil på basis af de registrerede forhold og analyser beskrive gode løsninger for bygningsautomation og formidle den opbyggede viden til interessentgruppen ved at anvise god praksis. Målet er, at de bedste løsninger hurtigt finder anvendelse i praksis og herved fører til et forbedret samspil mellem godt indeklima, lavt energiforbrug og god økonomi. Udover at være katalysator for igangsættelse af videre udvikling af nye energikoncepter og danne grundlag for demonstration indgår projektet i undervisningsmateriale på AAU og DTU.

1.3 Projektet og det videre arbejde

Projektet indeholder følgende tekniske udviklingstrin/faser:

- Fase 1: Forprojekt (denne rapport).
- Fase 2: Demonstrationsprojekt (videregående projekt, hvortil der søges støtte midler under PSO/EUDP-programmet).

Fase 1: Forprojekt

Sammenfatning af erfaringer, vurdering af mulighed for dansk byggeri, udvikling af god design praksis, forud for fuldskala demonstration.

Fase 2: Demonstrationsprojekt

Dokumentation og afprøvning af forbedrede, optimalt bestykkede automationsløsninger og formidlingsaktiviteter. Projektet kan se på flere bygninger og de-

monstrere løsningerne i praksis på nye bygninger og i forbindelse med renovering, hvor der ombygges til en mere fleksibel driftsstrategi i henhold til de ønskede klimaklasser og årstiden. Projektets slutrapport vil for fase 2 indeholde starten på en slags "Best Practice" på området og vil kunne danne reference/skole for kommende byggerier. Det foreslås derfor at udarbejde en informationspjece om projektet, som kan distribueres bredt i byggebranchen, som forventes hurtigt at tage resultaterne til sig og indarbejde løsningerne i deres daglige virke. Fase 2 forventes udført i 2010-2013.

Herefter (eventuel Fase 3) forventes produktmodning og almen anvendelse at kunne ske på normale markedsvilkår.

Forprojektet (Fase 1, denne rapport) belyser problemstillinger mødt i moderne byggeri, som kan undersøges på flere niveauer/detaljeringsgrader. Forankret i deltagernes brede erfaringsbase anvender projektet som udgangspunktet en relativt praktisk tilgang og afsøger gradvist forhold, der kræver nærmere analyse, og som forventes at ville kickstarte flere udviklingsforløb, også på producentsiden. For bedst muligt sammen med interessentgruppen og Dansk Energi Net, at kunne tilrette det videre projektforsløb er projektforsløbet faseopdelt, startende med dette demonstrationsforberedende forprojekt.

Projektet indeholder i hovedtræk følgende aktiviteter:

- 1 Udvalgelse af to typiske/repræsentative bygninger, som er forskellige i geometri og materialevalg - gerne en tung og en let bygning. Begge bygninger skal have en styring af de klimatiske forhold ved hjælp af varme og ventilation - måske også køling (passiv eller mekanisk).
- 2 Anvendelse af måledata over en nødvendig periode for i nødvendigt omfang at kunne få klarhed over delforbrug og de klimatiske forhold.
- 3 Interview med driftspersonale/brugere omkring tilfredshed med indeklimaet.
- 4 Opstilling af et profil over, hvorledes temperaturen glider i hver af de to bygninger såvel sommer som vinter og bestemmelse af sammenhængen mellem forbrug, temperaturglid og bygningskonstruktionen.
- 5 Tilpasning af simuleringsmodel, eventuelt en generisk, i overensstemmelse med de målte resultater og gennemførelse af nye simuleringer, hvor der styres ind efter at bygningen opfylder de 3 krav, der er gældende for tilfredshed I, II og III (A, B og C). Bestemmelse af tilhørende beregnet energiforbrug så vidt muligt opgjort på delforbrug for hver af de to bygninger på såvel I, II og III niveau.
- 6 Vurdering af, hvad det betyder for nødvendig automation for hver af bygningstyperne afhængig af krav om I, II eller III tilfredshed.
- 7 Udarbejdelse af en sammenfatning, fortrinsvis i skemaform, over betydningen af de forskellige parametervariationer og behov for registrering af delforbrug, til brug i en beslutningsproces, når en specifik bygning er valgt.

2 Problemformulering

2.1 Krav om godt indeklima

Projektet er samfundsmæssigt relevant, da et godt reguleret indeklima er afgørende for produktiviteten og brugertilfredshed på arbejdspladsen, ligesom der vil ses en effekt på behageligt indeklima og reduktion af sygefravær. Dette og energibesparelsen har et betydeligt potentiale i forhold til opfyldelse af nationale målsætninger. Internationalt er projektet relevant, idet Danmark er blandt de globalt førende inden for forskning i indeklima med en stor bagvedliggende industri, der leverer de nødvendige komponenter til at sikre et godt indeklima med lavt energiforbrug.

2.2 Potentiale for besparelser

Bygningsautomation er afgørende for kontrol af det bygningsrelaterede elforbrug, der udgør over 40 % af EU's energiforbrug. I forlængelse af EU's bygningsdirektiv og de nye energirammekrav i bygningsreglementet er projektet energipolitisk relevant, da der ligger et stort energibesparelspotentiale i en mere optimeret brug af energibesparende bygningsautomation.

Det vurderes, at energirigtig bygningsautomation i gennemsnit kan reducere bygningers energiforbrug med omkring 15 kWh/m² ligeligt fordelt på el (herunder til køling) og varme. Antages det, at energimæssig forbedret bygningsautomation benyttes i halvdelen af det nybyggede kontorbyggeri (2005 tal), vil det give en årlig el-besparelse på 23 mio. kWh, eller 760.000 ton CO₂ pr. år akkumuleret efter 10 år. Besparelserne relaterer primært til de regulerede objekter (lys, varme, varmt vand, ventilation og køling mv.) - men også mulighed for opfølgning på delforbrug og nedbringelse af komponenternes egetforbrug er vigtig. Projektet vil kunne danne basis for input f.eks. i forbindelse med næste skærpelse af BR kravene, der forventes omkring år 2010.

2.3 Observerede problemstillinger

Intentionerne ved installering af IBI¹, CTS², BMS³ og SCADA⁴ er gode; men ofte står erfaringerne med drift af anlæggene ikke helt mål med intentionerne, hvilket der er mange grunde til. Af væsentlige grunde kan nævnes mangel på anvisninger i optimal bestykning i forskellige typer bygninger med forskellige indeklimakrav og brugernes vanskeligheder med reprogrammering af systemerne. Den væsentligste årsag er nok, at der er tale om et grænseområde, hvor flere fagområder mødes, nemlig energi, vvs-, og elinstallationer samt relationer til brugere og driftspersonale. Risici for problemer opstår erfaringsmæssigt i grænseflader, og det er derfor netop her, der er behov for at gøre en ekstra indsats for at øge den fælles forståelse af systemerne blandt de involverede interessenter i byggeriet med henblik på at øge kvaliteten i forhold til de anvendte løsninger og afholdte investeringer. Der er samstemmende fra de personer, som projektet er drøftet med, udtrykt stor interesse og et klart behov.

Der er også konstateret behov for en bedre dokumentation, indkøring og opfølgning på automationsanlæg. Det er ikke unormalt, at der går 1-2 år, før anlæggene kører nogenlunde efter intentionerne, og herefter tager det yderligere lang tid at trimme driften til det optimale. Man kan derfor tænke, at nogle af de anvendte løsninger måske er gjort unødvendigt komplicerede.

Der ligger endvidere en udfordring i at nedbringe energiforbrug til automation. Eksempelvis bør en aktuator til f. eks. en omskifteventil kun bruge energi, når ventilen skifter position. Nogle aktuatorer bruger 4-6W i tomgangstab. IBI-bokse bruger typisk det samme. Når man i erhvervsbyggeri lægger de mange små forbrug sammen fra automatikkomponenter, er det ikke unormalt med 3 W/m² i tomgangstab = 7,5 W/m² i primærenergi. Når dette tal ganges med 8760 timer pr. år, bliver energiforbruget hertil ganske betydeligt.

Med hensyn til dokumentation af energiforbrug ses også problemer specielt på el-siden, hvor installationer og tavler ikke opbygges, så man kan skelne forskellige typer energiforbrug fra hinanden, således at opdeling passer med Be06: køling, ventilation, pumper, belysning mv.

¹ Intelligente Bygning Installationer

² Central Tilstandskontrol og Styring

³ Building Management System

⁴ Supervisory Control And Data Acquisition

3 Indeklimakategorier og ALFA-BETA koncept

3.1 Indeklimakategorier

I forbindelse med indeklime i bygninger findes forskellige standarder, der kan anvendes som projekteringskriterier for ventilation i bygninger. De vigtigste standarder er DS 474, ISO EN 7730, CR1752 og EN15251. I det følgende beskrives komfortgrænserne for det termiske og atmosfæriske indeklime svarende til standarden EN15251 [3], der bl.a. anvendes i analyserne i dette projekt.

Standarden opdeler i tre designkategorier: I, II og III. De tre kategorier kan også benævnes klasse A, B og C, hvilket er gjort nogle steder i rapporten. Kategori I svarer til en høj forventning til indeklime, kategori II til middel forventning og kategori III til moderat forventning. Kategorierne er opdelt i henhold til, hvor mange personer der kan forventes utilfredse med det termiske indeklime. Kategori I svarer 6 % utilfredse, mens kategori II og III svarer til henholdsvis 10 % og 15 % utilfredse med hensyn til det termiske indeklime. For det atmosfæriske indeklime svarer kriterierne for de tre kategorier derimod til 15 %, 20 % og 30 % utilfredse. Der findes en lang række designkriterier opstillet for de tre kategorier, hvilket Tabel 2 illustrerer. Tabel 1 angiver nogle af de primære.

Tabel 1 Tilladeligt interval for den operative temperatur⁵ og tilladelig indendørs CO₂-koncentration for de tre kategorier.

Indeklimakategori	Termiske designkriterier		Atmosfæriske designkriterier
	Operativ temperatur		CO ₂
	Sommer	Vinter	
Kategori I (klasse A)	24,5±1,0 °C	22,0±1,0 °C	460 ppm
Kategori II (klasse B)	24,5±1,5 °C	22,0±2,0 °C	660 ppm
Kategori III (klasse C)	24,5±2,5 °C	22,0±3,0 °C	1190 ppm

⁵ Den operative temperatur er defineret som et middeltal mellem lufttemperaturen og middelstrålingstemperaturen (den ensartede temperatur af de omgivende flader).

De termiske designkriterier er konstrueret i forhold til det forventede antal utilfredse personer og anvendes som setpunkter for henholdsvis styring af naturlig ventilation, mekanisk ventilation/køling samt opvarmning. For opvarmning om vinteren anvendes den nedre værdi som setpunkt, hvor den øvre værdi anvendes som setpunkt for køling om sommeren. Eksempelvis vil det for kategori I være henholdsvis 21,0 °C og 25,5 °C.

Det atmosfæriske indeklima dækker her over den oplevede luftkvalitet bestemt indirekte via CO₂-koncentrationen i indeluften. Værdierne for CO₂-koncentrationen er det tilladelige indendørsniveau. Det forudsættes, at luften udendørs normalt i gennemsnit indeholder 350 ppm CO₂. For kategori III skal der dermed ses bort fra Arbejdstilsynets vejledning om ikke at overskride et CO₂-indhold i indeluften på 1000 ppm.

Det er således klart, hvordan den valgte kategori kan bruges som design kriterium. Vælges et skarpere kriterium (mindre temperaturinterval), vil det medføre et større dimensionerende varmetab og større dimensionerende kølebelastning og større ventilationsmængder, dvs. installationer med større kapacitet samt tilsvarende større energiforbrug. Vælges en "lavere" kategori, bliver installationerne således mindre. At der er dimensioneret for en kategori betyder dog ikke, at man ved driften af en bygning vil ligge i denne kategori hele tiden. Der kan således dimensioneres for kategori III, men i store dele af året kan kravene til kategori I sagtens overholdes. Kun når udeklimaet er i nærheden af det dimensionerende udeklima (sommer, vinter), kan man ikke opretholde de højere krav. I standarden anbefales således at angive den %-del af året, hvor indeklimaet befinder sig i de tre kategorier som en vurdering af indeklimaet.

I nedenstående tabel findes flere detaljer fra EN15251 vedrørende designkriterier hørende til de tre indeklimakategorier. De viste kriterier gælder for to kontortyper, hvor der regnes med en brugstid fra kl. 9-17 og en beklædningsisolans på 0,5 clo.

Tabel 2 Detaljeret liste for kategori I, II og III med designkriterier for to typer kontorer/bygninger.

Bygnings-/rum type	Person-aktivitetsniveau	Person-tæthed	Kategori	Operativ temperatur		Støj-niveau	Ventilationsrate
				Sommer (kølesæson)	Vinter (varmesæson)		
				°C	°C		
Enkeltrums-kontor	1,2	0,1	I	23,5-25,5	21,0-23,0	30	2,0
			II	23,0-26,0	20,0-24,0	35	1,4
			III	22,0-27,0	19,0-25,0	40	0,8
Åbent kontor-landskab	1,2	0,07	I	23,5-25,5	21,0-23,0	35	1,7
			II	23,0-26,0	20,0-24,0	40	1,2
			III	22,0-27,0	19,0-25,0	45	0,7

3.2 ALFA-BETA konceptet

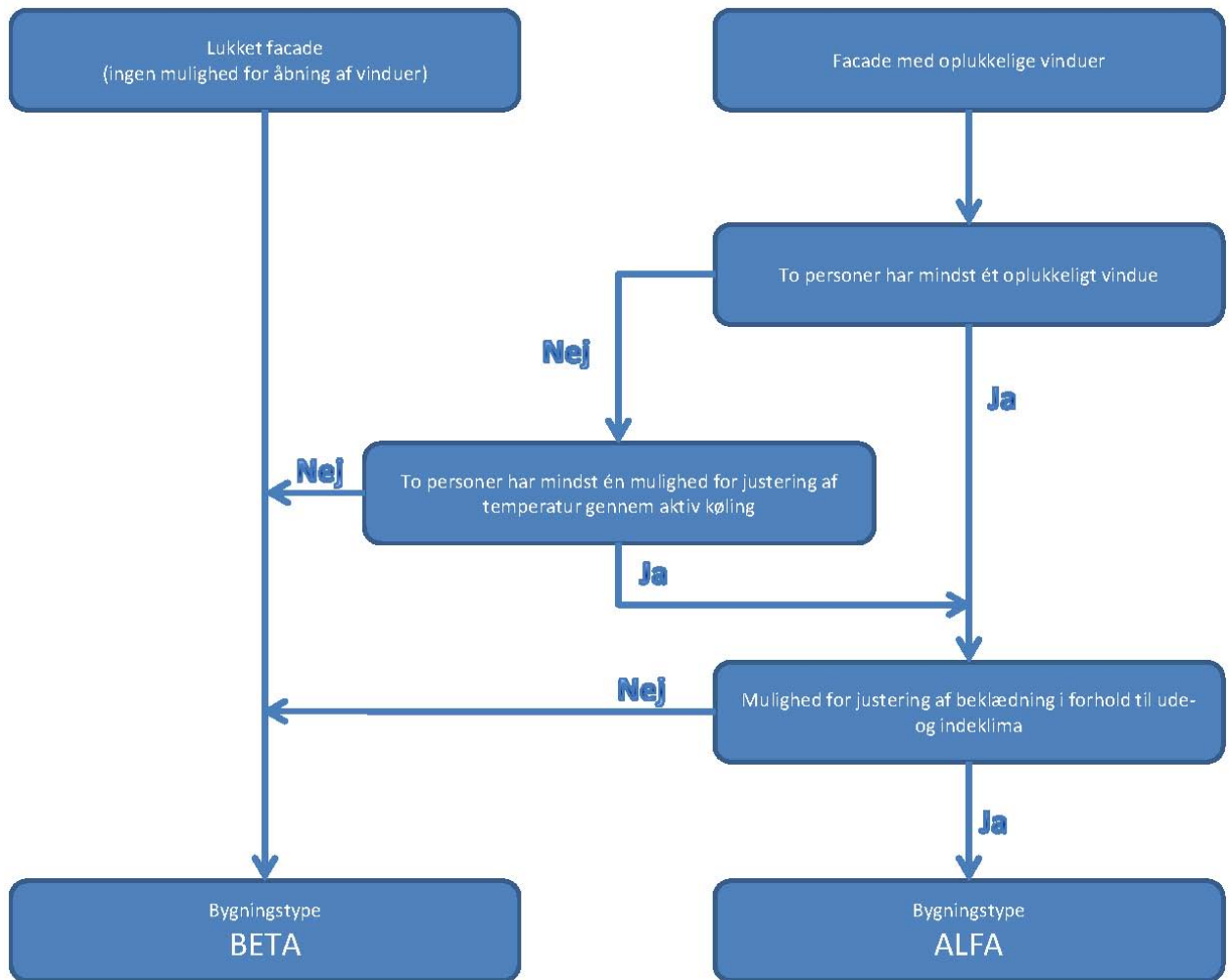
Til bestemmelse af en bygnings energimæssige, termiske og atmosfæriske ydeevne kan benyttes det såkaldte ALFA- og BETA-koncept. ALFA-bygninger defineres som bygninger med klimatilpasset arkitektur, der i højere grad følger/benyttter passive principper (varmeakkumulering og naturlig ventilation), og som tillader, at rumtemperaturen glider nogle grader i løbet af en arbejdsdag. BETA-bygninger er derimod bygninger, hvor der styres efter strengere komfortkrav, hvilket medfører flere installationer, f.eks. mekanisk ventilation og luftkonditionering /køling grundet høje interne belastninger (af IT, personer eller solindfald). Oftest er BETA-bygninger fuldt mekanisk konditioneret med køling, mens ALFA-bygninger er opbygget med nattekøling, naturlig ventilation og med mulighed for vinduesåbning en del af året.

Dette resulterer i forskellige styringsmæssige bestyknings af bygningen afhængig af, om det er en ALFA- eller BETA-bygning.

Begge bygningstyper kan udføres som lavenergibygninger og vil også fremover leve side om side; men den grundlæggende styrings- og reguleringsfilosofi og opbygning af installationerne er forskellig.

For at afgøre, om en bygning kan kategoriseres som værende ALFA eller BETA, er muligheden for adaptivitet (tilpasning) afgørende. På Figur 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 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 1.



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

4 Fleksible komfortkrav

I dagens standarder angives kravene til det termiske indeklima normalt som et temperaturinterval for den operative temperatur (i alle standarder bruges den operative temperatur for rumtemperaturen). Typisk for kontorbygninger er temperaturintervallet baseret på siddende arbejde (1,2 met) og relativ fugtighed mellem 40 % (vinter) og 60 % (sommer) og endelig en let sommerbeklædning (0,5 clo) og om vinteren en typisk beklædning på 1 clo.

For den normale kategori II svarer dette til et temperaturinterval 20-24°C om vinteren (opvarmning) og 23-26°C om sommeren (køling). Dvs. i princippet kan rumtemperaturen bevæge sig inden for det givne interval. Men dette interval skal indeholde både de forskelle, der kan være på grund af uensartet fordeling af rumtemperaturen (koldt ved vinduet, varmt ved bagvæggen), variationer på grund af temperaturreguleringen og det temperaturglid, vi her prøver at anvende. Har man således et rum med meget uensartet temperaturfordeling, er der mindre interval tilbage til temperaturglid og svingninger på grund af styringen.

Der findes også visse krav til, hvor hurtige ændringer er acceptable. En nylig undersøgelse på ICIEE-DTU viser, at ændringer på op til 2,5 °C/time er acceptable, så længe det er inden for komfortintervallet. Undersøgelsen viste også, at komfortintervallet ikke kan udvides ved et temperaturglid.

Et spørgsmål er stadig, om man kan tillade, at temperaturen året rundt på et kontor kan glide mellem 20°C og 26°C, hvis brugeren har mulighed for at ændre sin beklædning mellem 0,5 og 1 clo. Ligeledes er det uklart, hvornår man går fra sommer- til vintersituationen. Ofte er det defineret som den periode, der er brug for køling (sommer) og for opvarmning (vinter). Men i kontorer kan den samme bygning have brug for opvarmning om morgenen og køling om eftermiddagen, især hvis der ikke tillades temperaturglid.

EN15251 indeholder særskilte temperaturkriterier for bygninger, der ikke har mekanisk køling, men mulighed for at åbne vinduer. Her er kravene til rumtemperaturintervallet afhængig af middel-udetemperaturen. Dette betyder for danske klimaforhold ikke noget i forhold til kravene for bygninger med mekanisk køling. Den maksimale rumtemperatur for kategori II er stadig 26°C. For det sydlige Europa har det stor betydning.

Som vist tidligere ved bygningssimuleringerne betyder et højere krav til indeklimaet, at der skal dimensioneres større køle-, varme-, ventilationssystemer. Skærpede indeklimakrav betyder normalt også et stigende energiforbrug.

Nu er det maksimale energiforbrug i forvejen begrænset af kravene i bygningsreglement. Således vil et skarpere krav indeklimaet ikke kunne resultere i en overskridelse af energikravene.

5 Moderne kontorbyggeri - to eksempler

To nyere kontorbygninger er i projektet udvalgt som case til nærmere undersøgelse af bygningsautomation og energiforbrug. De vurderes at være repræsentative for typisk nyere kontorbyggeri. Ved at se på to forskellige bygninger er det muligt at lave sammenligner i forhold til f.eks. forskelle i geometri og materialevalg samt forskellig bygningsautomation. Den ene bygning er en forholdsvis let bygning i Hellerup, mens den anden er en tung bygning i Ørestaden. Begge kontorbygninger er opført inden for de sidste 6 år.

Projektdeltagerne har besøgt begge bygninger og besigtiget den pågældende bygningsautomation sammen med driftspersonale på stedet. Der blev foretaget grundig gennemgang af bygningernes installationer, herunder varme-, køle- og ventilationssystem samt belysning, solafskærmning og øvrig bygningsautomation. Gennemgangen inkluderede besigtigelsen af bygningernes teknikrum. Generelt var formålet med bygningsbesigtigelserne at indsamle fleste mulige data vedrørende den installerede bygningsautomation og bygningskonstruktionen generelt samt energiforbrug mv.

Der er for begge bygninger opbygget en simuleringsmodel i programmet BSim på baggrund af indsamlede data. Parametervariationerne i disse modeller har været diskuteret af projektdeltagerne, og resultaterne er efterfølgende blevet analyseret.

Bemærk, at der er forskel på, hvordan ALFA-BETA konceptet defineres i de to eksempler.

6 Eksempel 1 - Dan-Ejendommens kontorbygning

6.1 Bygningsbeskrivelse

Eksempel 1 er baseret på Dan-Ejendommens hovedkontor, der ligger i Tuborg Havn, Hellerup. Bygningen var færdigbygget i 2003. Bygningens opvarmede etageareal er på 18.800 m², hvoraf Dan-Ejendomme (DE) har en andel, mens resten er fordelt på forskellige lejemål. Regnes kælderen med, hvoraf størstedelen er til parkering og resten er teknikrum, så kommer arealet på 21.200 m². Det er DE, der står for bygningsdriften. Bygningen er opført med en stor andel glasfacader, hvilket gør den til en forholdsvis let bygning. Se nedenstående billeder.



Figur 2 Vestfacade af DE's kontorbygning i Hellerup.



Figur 3 Indvendigt atrium (tv.). Udvendig let facade (th.)

På Figur 3 ses det, at bygningen har et atrium i midten. Over dette atrium er der ovenlysvinduer, som kan åbnes. Ovenlyskonstruktionen har nogle steder udvendig solafskærmning, men er de fleste steder indvendigt afskærmet.

Bygningens har nogle steder dobbelte glasfacader, der går helt til gulv. Disse facader har solafskærmningen integreret. For bygningens øvrige glaspartier er der tale om indvendig solafskærmning i form af persienner, dvs. individuel regulering.

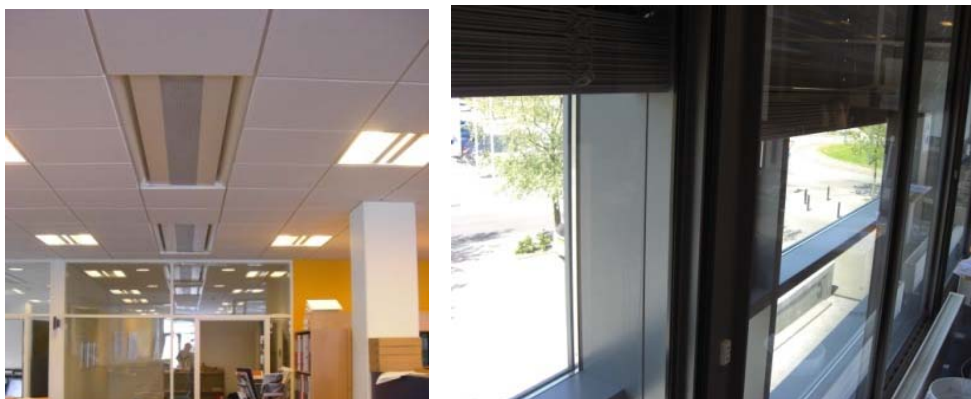
Bygningen er mekanisk ventileret og har varmegenvinding med roterende veksler til forvarmning/forkøling af ventilationsluften.

Bygningens varme-/kølesystem er designet med zoneopbygning opdelt pr. etage til styring af indetemperaturen. Alle kontorer har en føler på væggen med en justeringsmulighed for temperatur. Brugere har mulighed for at justere inden for 3°C interval.

Radiatoranlæg ved yderfacader. Ingen radiatorer mod atrium.

Bygningens kølesystem består af kølekompressoren samt frikøleanlæg på taget. I bygningen er der komfortkøling via køleflader i mødelokaler, kopirum mv., mens der køles via kølebafler i øvrige kontorlokaler.

I bygningen er der installeret PIR-følere til regulering af den almene belysning.



Figur 4 Eksempel på kølebafler i kontorlofterne (tv.). Dobbelt glasfacade (th.)

Flere detaljer vedrørende bygningen og dens installationer findes i Appendiks 1.

6.2 Driftserfaringer

Driftspersonalet kan konstatere følgende for den pågældende bygning:

- Kølebafler er generende for nogle af kontorbrugerne, som selv har afdækket disse med tape og lignende for at undgå kuldenedfald. Kølebaflerne skal i øvrigt støvsuges hvert andet år, for at effektafgivelsen ikke nedsættes
- Driften har kun ca. 2 % klager, så bygningsdriften er velfungerende, men Driften skal tage alle klager til efterretning. Normalt ved bygningsdrift regner man med, at 5-10 % klager er ok, da det jo er svært at gøre alle tilfredse på samme tid, fordi man oplever indeklimaet forskellig eller er forskelligt påklædt.
- Der rapporteres dog samstemmende om for høje temperaturer og træk fra nordvest facade - manglende klager kan skyldes, at man efter en periode har accepteret tingenes uforanderlige tilstand.
- Der er tilfredshed med akustikken (gulve er tæppebelagte).
- Setpunktet for kontorlokalerne er 22-23°C. Hvis denne sættes længere ned, er der risiko for trækproblemer. Det er ikke unormalt med 25°C på kontorerne i sommerhalvåret.
- Det er sværest at styre forår og efterår med hensyn til at undgå trækproblemer.
- Vindpåvirkning på bygningen har direkte betydning for indeklima og temperatur i bygningen

Ønsker til automatikforbedringer:

- Bedre styring af solafskærmning. F.eks. kunne det være praktisk, hvis al afskærmning kunne styres med SRO-systemet og indstilles, så den kørte ned efter arbejdstid, således at der ikke skabes unødigt kølebehov, når solen står på bygningen, bl.a. om morgenen.

6.3 Målt energiforbrug

For denne bygning har energidata været svært tilgængelige, og så vidt vides findes der ikke samlede opgørelser, der viser udviklingen i energiforbrug, hverken på måneds- eller årsbasis, siden bygningen blev taget i drift. Dette skyldes bl.a., at bygningen er indrettet til flere lejemaal. Med hensyn til el så oplyser DONG, at bygningen har mindst 8 elmålere, hvor af ikke alle kan fjernaflæses. Dette gør det besværligt at skabe et samlet overblik over elforbruget i bygningen.

Nedenstående tabel viser nøgletallene for energiforbruget i perioden juli 2007 - juni 2008, sådan som de anslås at se ud. Det totale elforbrug pr. m² bygningsareal er opdelt i elforbrug til bygningens tekniske fællesinstallationer og øvrigt elforbrug i bygningen (kontorarealer, køkken og driftskontor). Elforbruget i kontorområdet vurderes at gå til arbejdspladsudstyr (pc'er, printere, servere mv.), kontorbelysning og noget automatik. Det fælles elforbrug formodes derimod at gå til bygningens køleanlæg og ventilationsanlæg, fælles belysning, bygningsautomation og diverse funktioner/udstyr.

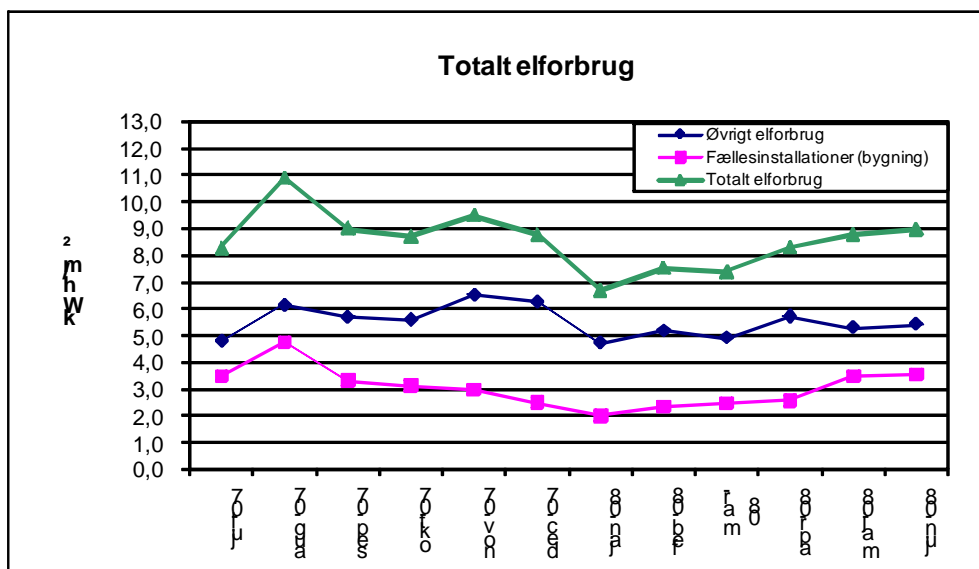
Tabel 3 Energiforbrug i DE's kontorbygning i perioden juli 2007 - juni 2008 begge måneder inklusive

Energiforbrug [MWh]	Forbrug juli 2007 - juni 2008 [MWh]	Forbrug pr. areal juli 2007 - juni 2008 [kWh/m ²]
Elforbrug, kontorareal mv.	1.241,3	66,0
Elforbrug, fællesinstallationer (bygning)	688,3	36,6
Elforbrug, totalt	1.929,6	102,6
Fjernvarmeforbrug, totalt	1056,1	56,3

Af tallene fra ovenstående tabel kan det uddrages, at elforbruget i kontorområdet mv. udgør omkring 64 % af bygningens samlede elforbrug i forhold til bygningens fællesforbrug på 36 %.

Hvis der sammenlignes med ELO-nøgletal [11], hvor gennemsnitselforbruget er 67 kWh/m²/år og gennemsnitsvarmeforbruget er 64 kWh/m²/år for kontorbyggeri, ses det, at DE-bygningens elforbrug er ret højt, mens varmeforbruget er en anelse lavere. Det høje elforbrug kan bl.a. skyldes bygningens 4 it-serverrum tilknyttet bygningens forskellige lejemaal (Dan-Ejendomme, Microsoft og Regus).

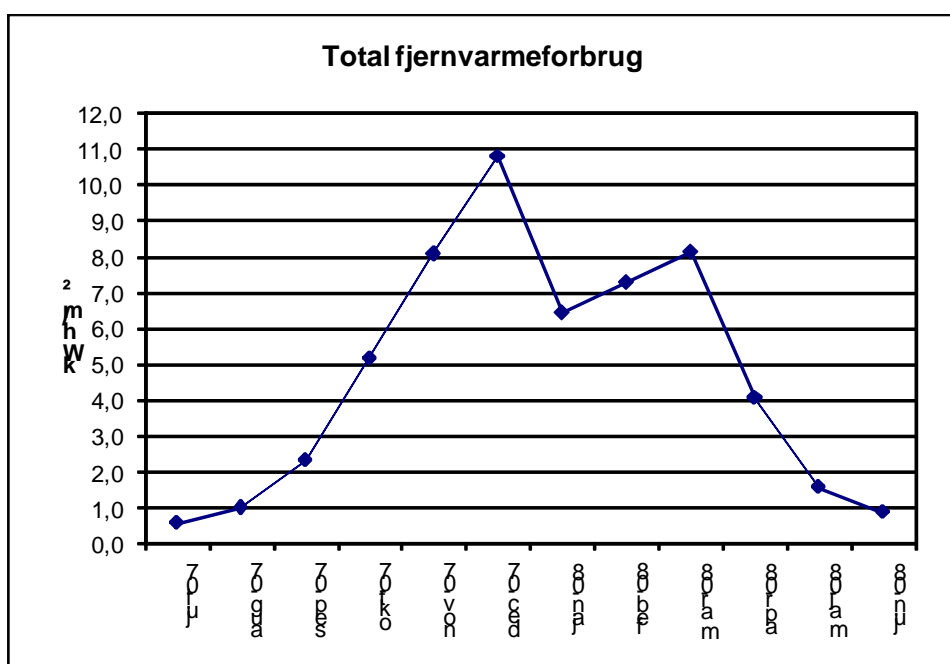
Figur 5 viser variationen i elforbruget i løbet af et års tid.



Figur 5 Bygningens elforbrug i perioden juli 2007 til juni 2008. Fællesforbruget er opgjort ud fra et bygningsareal på 18.800 m².

Af figuren ses det, at det fælles elforbrug i bygningen er højest om sommeren og lavest om vinteren, hvilket vurderes at hænge sammen med, hvornår der er kølebehov. Det øvrige elforbrug (kontorer mv.) er til gengæld mere konstant og højest i november og december, hvilket kan skyldes ekstra behov for belysning.

Nedenstående figur viser variationen i fjernvarmeforbruget for den samme periode.



Figur 6 Bygningens fjernvarmeforbrug i perioden juli 2007 til juni 2008. Forbruget er opgjort ud fra et bygningsareal på 18.800 m².

Set ud fra sommermånederne, hvor der ikke er rumopvarmningsbehov, vurderes det, at energiforbruget til varmt brugsvand samt varmetabet i systemet ligger på ca. 20 % af det årlige fjernvarmeforbrug.

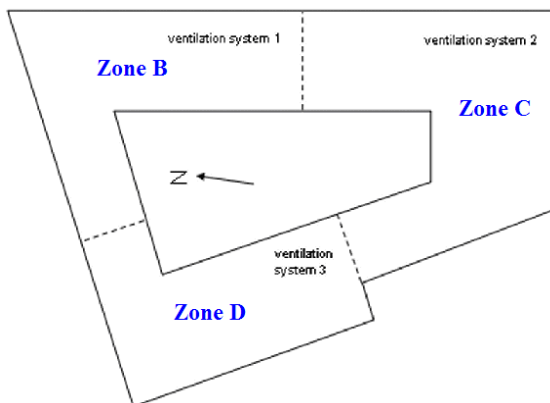
Konklusioner i forbindelse med opgørelse energiforbrug

Energidata fra denne ejendom er ikke detaljeret opdelt mellem zonerne og mellem komponenterne. Generelt er der behov for bygningsautomation, der sammen med it-systemer kan give driftspersonalet og eventuelt de øvrige ansatte et nemt overblik over energiforbruget i bygningen. Derved kan der komme større fokus på energibesparelser, og driften kan lettere opdage uregelmæssigheder, der fører til unødigt energiforbrug.

6.4 Indeklima

DTU ICIEE har lavet nogle indeklimateundersøgelser af DE's kontorbygning for 2008. Disse undersøgelser er ikke lavet som en del af dette projekt, men er udført i forbindelse med et andet projekt (EUDP).

Udvalgte spotmålinger, brugerundersøgelsesresultater og en samlet vurdering af indeklimate er præsenteret i det følgende. Se endvidere Appendiks 6. Målingerne er primært udført på bygningens 1. sal, hvor der er en zoneinddeling, som vist på Figur 7.

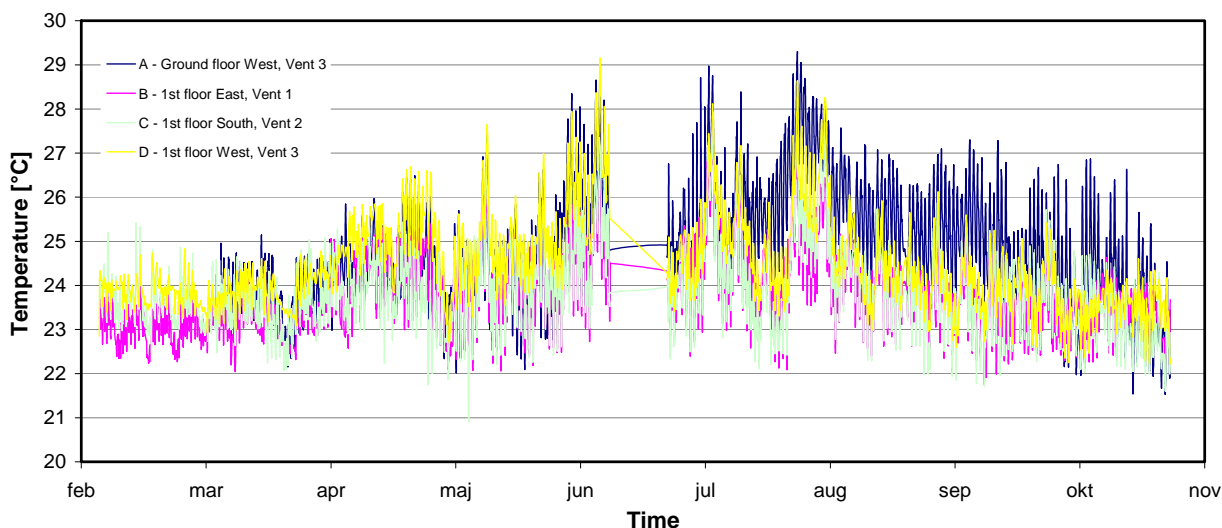


Figur 7 Etageplan med zoneinddeling.

6.4.1 Spotmålinger

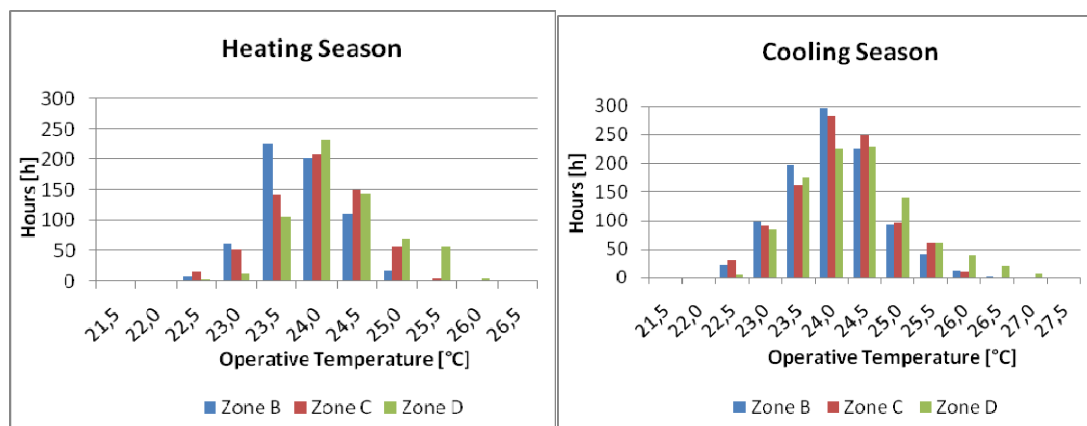
Temperatur i bygningen

Nedenstående figur viser et eksempel på indetemperaturen målt i bygningen i en 9-måneders periode. Det ses, at det nedre setpunkt er sat højere end 22°C. og at kølesystemet ikke virker optimalt i zone D og A, hvor temperaturen overstiger 26°C.



Figur 8 Eksempel på lufttemperaturer målt i bygningen i 2008.

Endvidere er der målt operativ temperatur på bygningens 1.sal. Resultaterne fremgår af Figur 9.

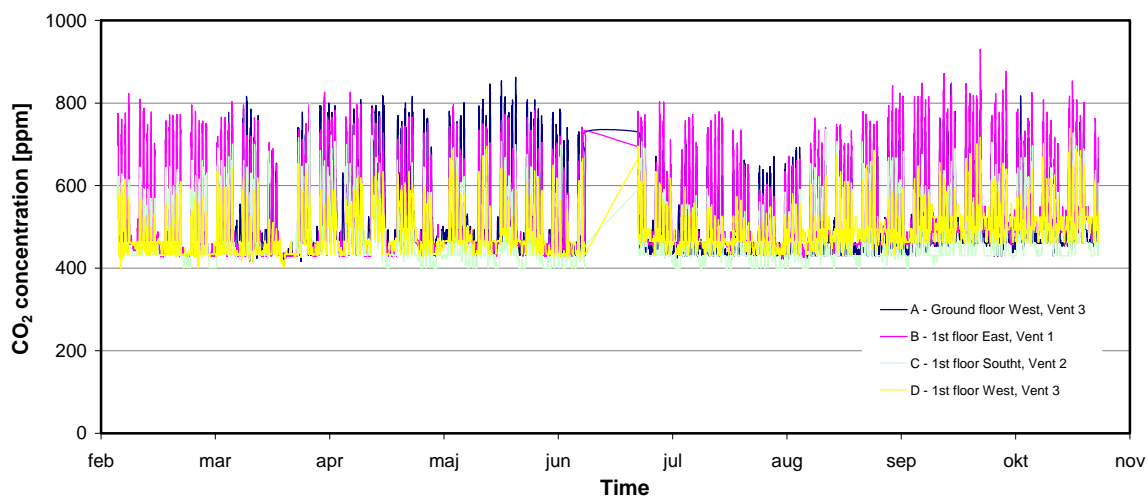


Figur 9 Histogrammer over den operative temperatur i henholdsvis opvarmnings- og kølesæsonen målt i bygningen (1. sal) i tidsrummet 9:00 til 17:00.

Disse figurer indikerer ligeledes, at der er problemer med lidt for høj temperatur. Dog skal det nævnes, at DS 474 [1] overholdes, dvs. at antallet af timer over 26°C og 27°C ikke overstiger henholdsvis 100 timer og 25 timer for et typisk år. Setpunktet for opvarmningen er for højt. Endvidere ses det, at temperaturen i zone B varierer mindre og generelt er lavere end i de to andre zoner. Det kan forklares med, at zone B er orienteret mod nordvest.

CO₂-niveau

Når der i stedet ses på CO₂-målingerne, kan det dog konstateres, at ventilationsflowet er ok, idet CO₂-koncentration stort set ikke overstiger 800 ppm. Se Figur 10.



Figur 10 Eksempel på CO₂-koncentrationen målt i bygningen.

6.4.2 Samlet vurdering af indeklimaet

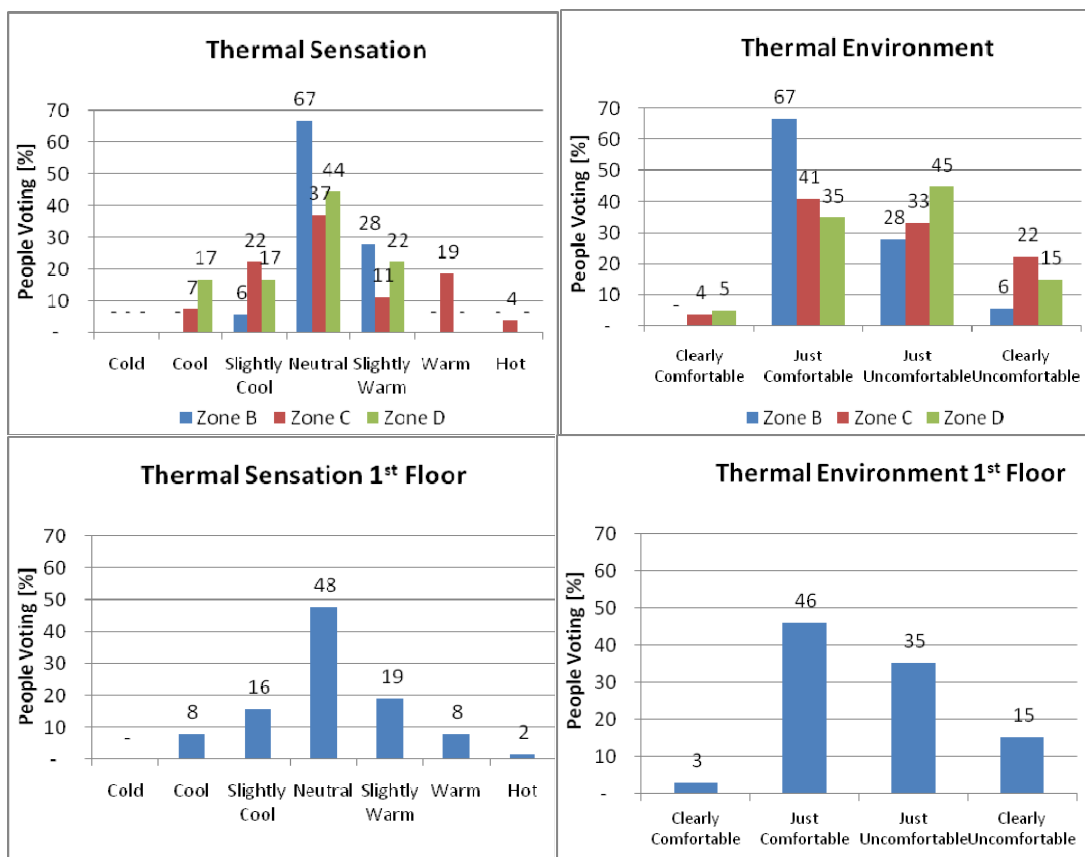
Termisk indeklima

På baggrund af temperaturmålingerne er det muligt at vurdere temperaturniveauet i bygningen i forhold til de vejledende designkategorier i standarden EN15251. Af Tabel 4 kan det ses, at bygningen i store træk overholder kategori III. Dog er zone D kritisk om vinteren, hvor der forekommer overopvarmning 10 % af tiden. En justering af varmeanlægget vil kunne løse dette problem. Af tabellen ses også, at bygningen til gengæld er et stykke fra kategori I. Kun ca. 8 % af tiden om vinteren opfylder bygningen denne kategori.

Tabel 4 Kvalitet af det termiske indeklima i % tid i indeklimakategorierne.

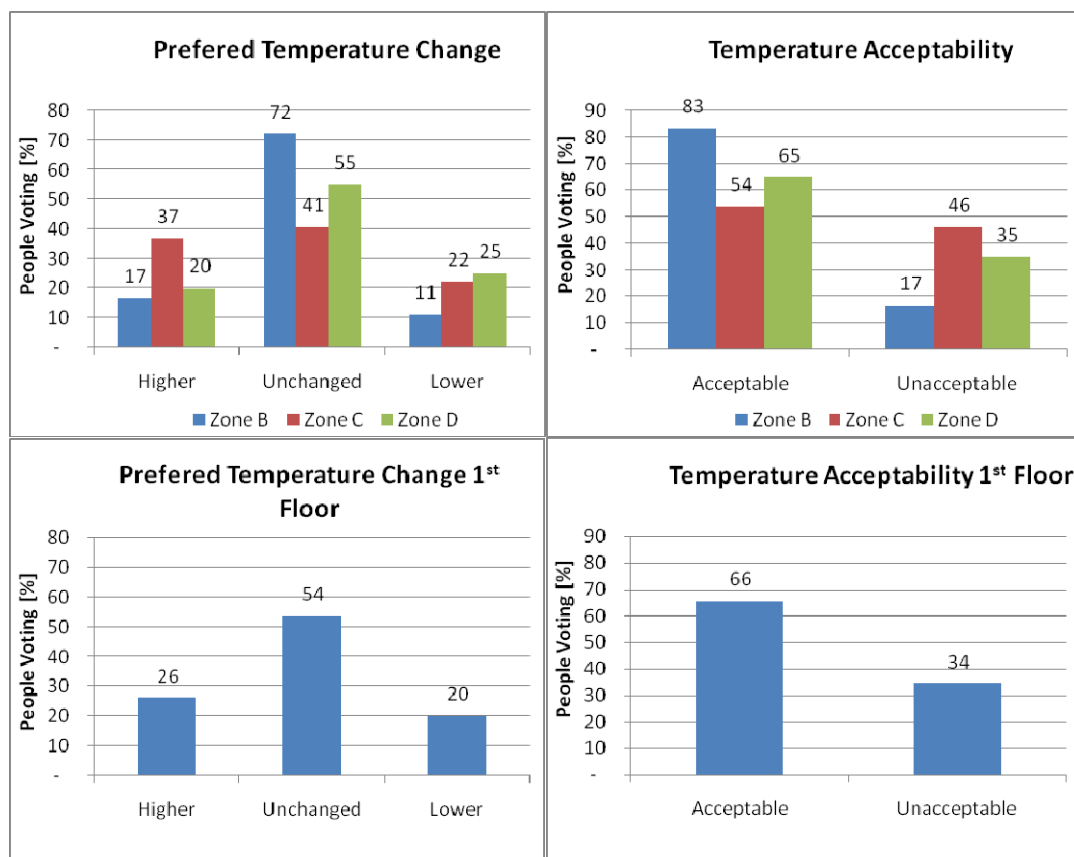
	Percentage [-] in Winter period				Percentage [-] in Summer period			
	I (21.0 - 23.0°C)	II (20.0 - 24.0°C)	III (19.0 - 25.0°C)	IV (Other)	I (23.5 - 25.5°C)	II (23.0 - 26.0°C)	III (22.0 - 27.0°C)	IV (Other)
Zone B	11.3	79.2	100.0	0.0	86.2	97.5	100.0	0.0
Zone C	11.0	66.8	99.4	0.6	86.2	96.8	100.0	0.0
Zone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

I det følgende præsenteres resultater fra en spørgeskemaundersøgelse udført i marts 2008.



Figur 11 Resultater af spørgeskemaundersøgelse: Oplevelse af det termiske indeklima.

Af Figur 11 kan det konkluderes, at omkring 50 % af de adspurgte bygningsbrugere har en neutral oplevelse af det termiske indeklima. Herudover er der nogle, der oplever indeklimaet køligt, mens lidt flere oplever det varmt. Kun 3 % har svaret, at de er fuldt ud tilfredse med det termiske indeklima, mens 46 % er lige akkurat tilfredse. Den resterende halvdel er lidt eller klart utilfredse.



Figur 12 Resultater af spørgeskemaundersøgelse: Ønsket temperaturændring og acceptabilitet af temperatur.

Figur 12 indikerer, at 54 % bygningens brugere ønsker at beholde rumtemperaturen uforandret. Blandt de resterende ønsker flest en lidt højere temperatur. Dette passer dog ikke helt sammen med resultaterne i Figur 11, hvor 24 % følte indeklimaet koldt og 29 % varmt.

Det overordnede billede af det termiske indeklima er, at 66 % finder indetemperaturen acceptabel og 34 % uacceptabel.

Se endvidere Appendiks 6.

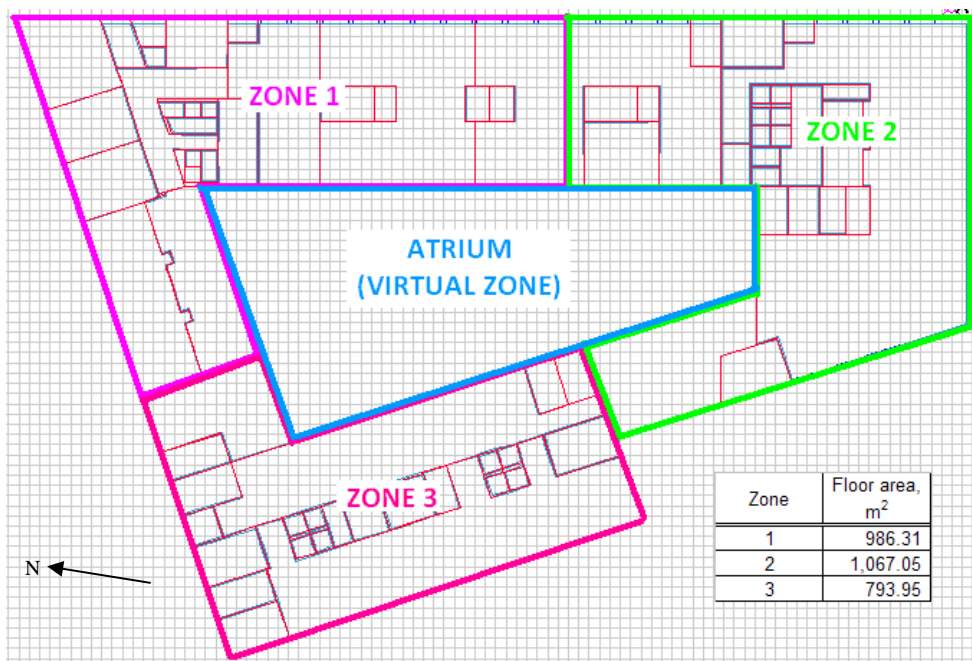
Atmosfærisk indeklima, luftskifte og luftfordeling

Der er ikke lavet nærmere undersøgelser af dette.

6.5 Simulering med BSim

DTU ICIEE har udarbejdet en BSim-model og tilhørende rapport for DE-bygningen. Se Appendiks 3. Det blev valgt at opbygge en model af bygningens 1. etage med antagelsen om, at denne er repræsentativ også for de andre etager, der har lignende indendørsforhold. Modellen er blevet kalibreret efter detaljerede indeklimaparametre såsom lufttemperatur, relativ luftfugtighed mv. og målt energiforbrug i bygningen.

Nedenstående figur viser den simuleringsmodel, der er lavet for bygningens 1. sal. Zoneinddelingen er den samme som vist på Figur 7, men på Figur 13 og i det følgende benævnes zonerne i stedet zone 1, zone 2 og zone 3 svarende til ventilationssystemerne.



Figur 13 Opbygget BSim-model med zoneinddeling af 1. etage.

I simuleringerne er den pågældende bygnings ydeevne blevet undersøgt med hensyn til termisk indeklima og energiforbrug for to forskellige temperaturintervaller. Det atmosfæriske indeklima er ikke blevet analyseret.

Forudsætninger for simulering

Der er foretaget simuleringer for følgende to temperaturintervaller:

- Det brede temperaturinterval på 20-25°C er defineret som en ALFA-bygning .
- Det smalle temperaturinterval på 21-23°C er defineret som en BETA-bygning.

I kontrast til en "rigtig" ALFA-bygning har den simulerede ALFA-bygning dog mekanisk ventilation og køling, men har et bredere temperaturinterval.

Tabel 5 Forudsætninger anvendt i simuleringen.

System	Beskrivelse	Tidsplaner	
		Regulering	Tidsangivelse
Personlast 200 personer	200 personer med et aktivitetsniveau svarende til 1,2 met 10 % til stede 100 % til stede		Hverdage kl. 17-24, lørdag kl. 8-17 Hverdage kl. 8-17
Udstyr	6,0 W/m ² 10 % tændt 100 % tændt		Hverdage kl. 17-24, lørdag kl. 8-17 Hverdage kl. 8-17
Infiltration	Grundluftskifte 0,14 h ⁻¹ i brugstiden og 30 % mindre udenfor brugstiden.		Altid kl. 0-8 og 17-24 Altid kl. 8-17
Belysning	Almen belysning 10 W/m ² , 300 lux	Manuel styring	Hverdage kl. 17-24, lørdag kl. 8-17 Hverdage kl. 7-17
Opvarmning	Ydelsen for varmeanlægget fastsættes, så setpunktet for opvarmning opnås. Uden for brugstiden regnes med en setpunktsforskydelse på 3°C Udetemperatur	Setpunkt ALFA 20 °C Setpunkt BETA 21 °C -12°C til 17°C	Aktiv alle timer i varmesæson. Uge 1-14 og 40-53
Ventilation	VAV anlæg		
	Flow zone 1 = 1,68 m ² /s		
	Flow zone 2 = 1,82 m ² /s		
	Flow zone 3 = 1,35 m ² /s		
	Køling	Setpunkt ALFA 25 °C Setpunkt BETA 23 °C	
	Opvarmning	Setpunkt ALFA 20 °C Setpunkt BETA 21 °C	
	Mekanisk udsugning 15 l/s		

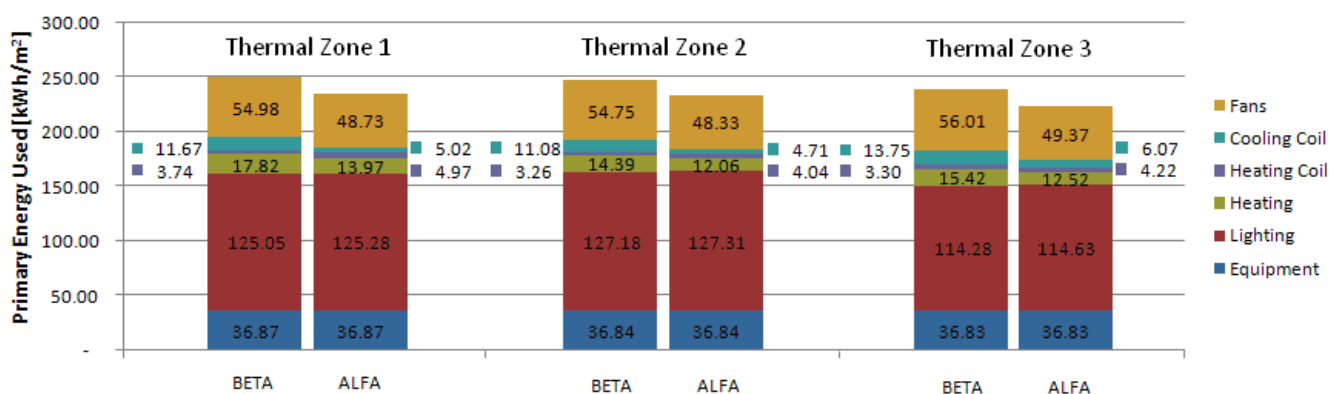
Figurer og konklusioner

Simuleringerne gav følgende konklusioner:

- Det brede temperaturinterval på 20-25°C, her defineret som en ALFA-bygning, resulterer i energibesparelser, på grund af det højere setpunkt for køling, dvs. 25°C i stedet 23°C.
- Derudover har ALFA et større potentiale for at benytte natkøling og dermed reducere behovet for el.

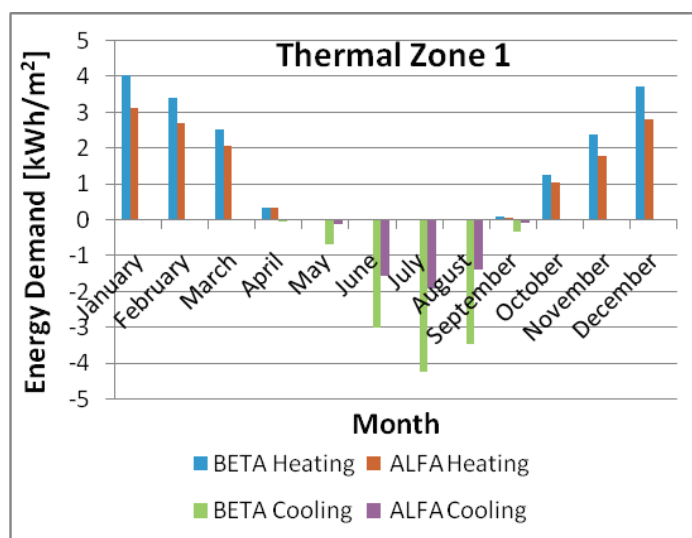
- Det smalle temperaturinterval på 21-23°C, her defineret som en BETA-bygning, resulterer i et højere kølebehov, men også varmebehovet er større.
- Med de givne forudsætninger, herunder definitionen af ALFA og BETA, ser det ud til, at der kan spares 6-7 %, svarende til ca. 15 kWh/m²/år i primært energibehov ved en ALFA-bygning i forhold til BETA. Omregnet svarer det til et faktisk energiforbrug på ca. 5 kWh/m²/år.

Herunder ses simuleringens hovedresultater for energi. Der er tale om primær energi, hvor elbehovet er ganget med en faktor 2,5 for at kunne sammenligne det med varmebehov.



Figur 14 Årligt primært energiforbrug i zone 1, 2 og 3 for de to temperaturkontrolkoncepter ALFA og BETA.

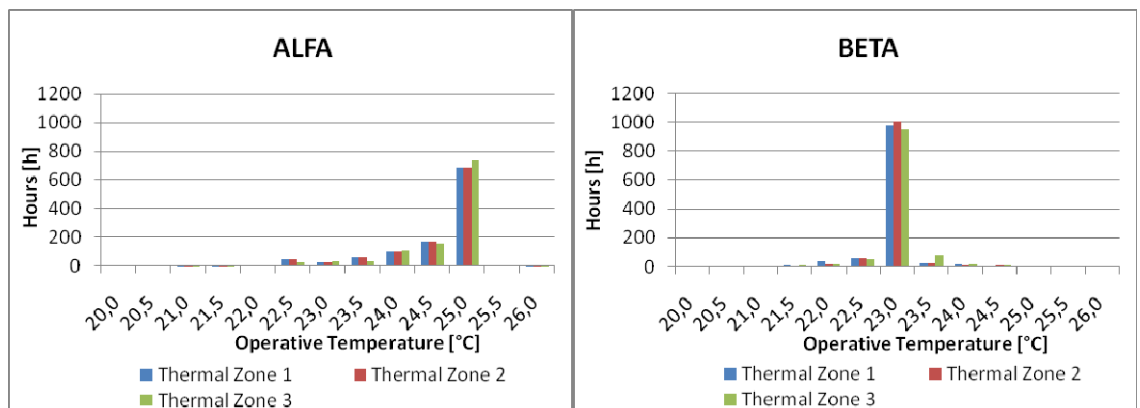
Som eksempel på den månedlige variation i varme- og kølebehovet er beregnings-resultaterne vist for zone 1 på Figur 15. Mønsteret er det samme for zone 2 og 3.



Figur 15 Månedsvariationen i varme- og kølebehov i zone 1.

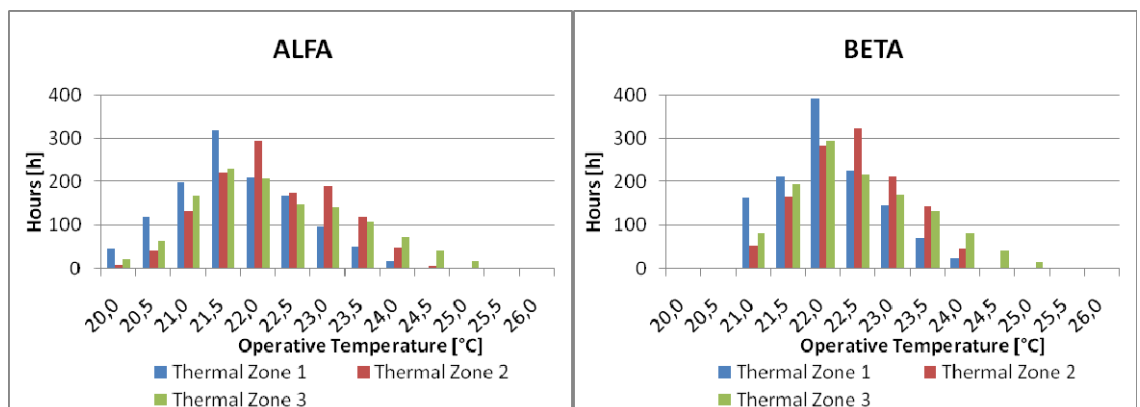
Det ses, at april og september er overgangsmåneder, hvor der både er varme- og kølebehov. I disse måneder er der ikke særlig stor forskel på ALFA og BETA. Figuren viser tydeligt, at BETA generelt har et højere energibehov. Forskellen i forhold til ALFA er størst sommer og vinter, hvor henholdsvis køle- og varmebehovet er størst.

På de følgende figurer kan forskellen i indetemperatur mellem ALFA og BETA ses.



Figur 16 Histogram over den operative temperatur om sommeren (kølebehov) i tidsintervallet 8:00 to 17:00.

Det ses, at om sommeren er den operative temperatur for ALFA konstant 25°C eller lavere, mens temperaturen for BETA konstant er 23°C ca. 80 % af tiden.



Figur 17 Histogram over den operative temperatur om vinteren i tidsintervallet 8:00 to 17:00.

Om vinteren er der mere variation i temperaturerne. I begge tilfælde overskrides setpunktsværdierne for varmesystemet. I nedenstående tabel er fordelingen i operativ temperatur sammenholdt med de vejledende komfortintervaller i EN15251.

Tabel 6 Kvalitet af det termiske indeklima i % tid i indeklimakategorierne.

Winter period					Summer period				
	Percentage [-]					Percentage [-]			
Thermal Environment	IV (Other)	III (19.0-25.0°C)	II (20.0-24.0°C)	I (21.0-23.0°C)	Thermal Environment	IV (Other)	III (22.0-27.0°C)	II (23.0-26.0°C)	I (23.5-25.5°C)
BETA	3.0	99.9	98.3	84.8	BETA	0.7	99.3	92.4	5.5
ALFA	0.2	99.8	98.0	78.5	ALFA	0.6	99.4	94.6	91.3

Af tabellen ses det, at ALFA holder sig bedst inden for de tre kategorier både vinter og sommer. For BETA med det mere snævre temperaturinterval er det sværere at holde sig inden for især kategori I.

Sammenligning af simuleringresultater med faktiske tal

Det faktiske energiforbrug for DE-bygningen er vurderet til at være 154,3 kWh/m² og 88,0 kWh/m² for henholdsvis el- og varmforsøg. Dog kommer disse tal ned på 129,4 kWh/m² og 49,8 kWh/m² for henholdsvis el- og varmforsøg, hvis bygningens kælderareal inddrages i beregningen.

De beregnede energiforbrug angivet i Figur 14 er primærenergiforbrug, og for at de skal kunne sammenlignes med det faktiske forbrug, skal der divideres med en faktor 2,5 på elforbrug. Som sagt er der ikke så stor forskel på energiforbruget i zone 1, 2 og 3 og heller ikke på ALFA og BETA. Derfor er kun zone 1, BETA, valgt i det følgende til sammenligning med det faktiske forbrug. Ved omregning af primærforsøget fås et elforbrug på 91,4 kWh/m²/år og et varmforsøg på 21,6 kWh/m²/år.

Det simulerede energiforbrug er altså en del mindre. Det kan bl.a. skyldes følgende:

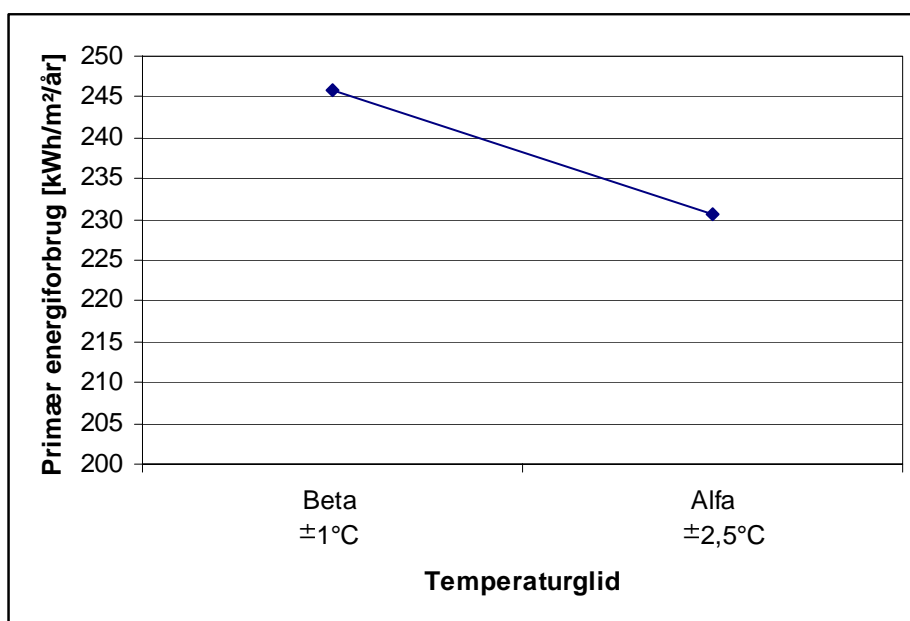
- Overventilering, hvilket medfører et større energiforbrug til opvarmning og et større elforbrug til ventilation.
- Der er kun simuleret en etage i bygningen. F.eks. kan solindstråling gennem ovenlys i atrium medføre til øget kølebehov. Derudover kan energiforbruget være højere andre steder i bygningen, f.eks. i stueetagen, hvor der er køkken og kantine.
- I BSim er der medtaget elforbrug til belysning og udstyr samt ventilation, køling mv. Men de virkelige elforbrug kendes ikke specifikt, så simuleringen er baseret på antagelser.
- Måske er ikke alle varmetab medregnet.
- Til simuleringerne er der anvendt vejrdato for et referenceår, DRY vejrdato, der kan afvige fra det faktiske vejr og dermed have betydning for varme- og kølebehov.

At simuleringen ikke passer 100 % med de faktiske forhold er dog ikke afgørende i denne rapport, da det er den relative forskel mellem ALFA- og BETA-konceptet, der er interessant.

6.6 Energiforbrug versus temperaturlid

I dette afsnit er opstillet et profil, der viser sammenhængen mellem indetemperaturinterval og energiforbrug i bygningen. Da definitionen af ALFA og BETA for denne bygningssimulering kun baserer sig på størrelsen af temperaturintervallet, som bygningen styres ud fra, og da der i disse simuleringer ikke er set nærmere på betydningen af bygningskonstruktioner og -installationer, er profilet en direkte udledning af det beregnede energiforbrug for de to simuleringstilfælde.

Figur 18 viser forskellen i det primære energiforbrug ved at lade den operative temperatur glide henholdsvis 2°C (BETA) og 5°C (ALFA). Denne forskel er som nævnt omkring 15 kWh/m²/år.



Figur 18 *Beregnet profil for temperaturlid versus energiforbrug for DE-bygningen.*

7 Eksempel 2 - Københavns Energis kontorbygning

7.1 Bygningsbeskrivelse

Eksempel 2 er baseret på Københavns Energis hovedkontor, der ligger i Ørestaden på Amager. Bygningen stod færdig januar 2005. Det totale etageareal er på 16.000 m² inklusive kælder, mens kontorarealet udgør ca. 13.000 m², der er fordelt mellem forskellige udlejere, hvoraf Københavns Energi (KE) er den primære og den, som står for bygningsdriften. Bygningen er opført af primært tunge konstruktionsmaterialer, hvilket fremgår af Figur 19.



Figur 19 Sydfacade af Københavns Energis domicil i Ørestaden.

Nedenstående billeder viser, at bygningen har et atrium i midten med åben forbindelse ind til kontorområderne, hvilket er med til at give en god fordeling af dagslys ind på etagerne.



Figur 20 Åben forbindelse til atrium fra de åbne kontormiljøer.

For at minimere varmetilskuddet fra solstråling og direkte sollys er der opsat indvendig solafskærmning i toppen af atriet (se Figur 20, tv.) og udvendig solafskærmning omkring vinduerne (se Figur 21, tv.).



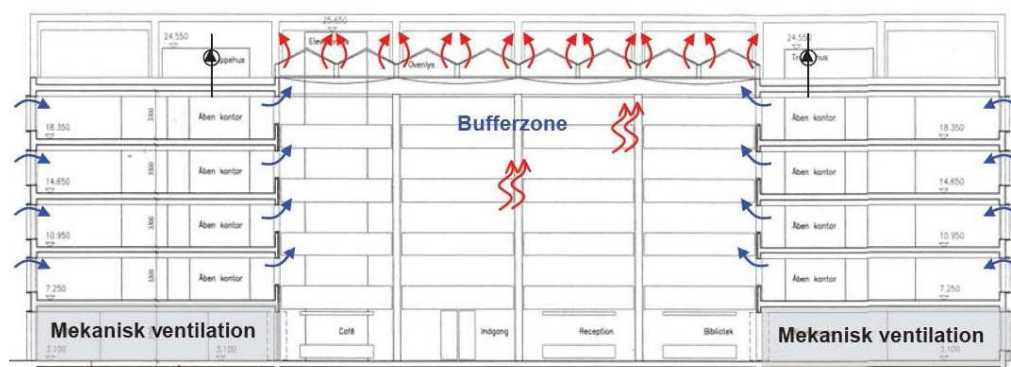
Figur 21 Eksempel på vindue i kontorområde med integreret persienne og styret åbning (tv.). Eksempel på stillerum i kontorområde (th.).

På 1. – 4. sal er der placeret otte møde- og stillerum. Figur 21 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.

Bygningen har både naturlig og mekanisk ventilation, hvor den naturlige ventilation er den primære. Den naturlige ventilation sker via automatisk styrede åbninger i facaden, de frie åbninger på hver etage ud til atriet samt oplukkelige ovenlysvinduer i toppen af atriet. I kontorområderne er der både de automatisk styrede åbninger (højtsiddende) samt manuelt styrede åbninger, som det kan ses på Figur 21. Placeringen af den automatiserede åbning er valgt for at understøtte god indtrængning af luftstrålerne og dermed minimere trækgener for de an-

satte. Den manuelle åbning forbedrer de ansattes mulighed for at påvirke egen komfort.

Mekanisk ventilation haves i stueetagen, hvor bl.a. kantinen ligger, samt i alle møde- og stillerum på grund af en relativt høj belastning og manglende åben forbindelse til de øvrige rum i bygningen. Ventilationsaggregaterne er placeret i kælderen, hvor der også er mekanisk ventileret med køling som følge af en høj belastning primært på grund af et stort antal edb-servere. 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 og ovenlysvinduerne i atriets loft. Ventilationsprincippet for bygningen kan ses på Figur 22.



Figur 22 Ventilationsprincip for bygningen

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.

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

Derudover har bygningen komfortkøling via den mekaniske ventilation. I serverrum i bygningskælder køles via indblæsning i gulv. Der er ingen genvinding af bortkølet overskudsvarme fra serverrum.

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, som er tændt på hverdage fra kl. 7-17 med 70 % styrke.

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. Bygningens vestfacade har integrerede solceller i den ydre solafskærmning.

Flere detaljer vedrørende bygningen og dens installationer findes i Appendiks 2.

7.2 Driftserfaringer

Driftspersonalet kan konstatere følgende for den pågældende bygning:

- Der er en række bygningsfejl såsom utætte vinduer og døre på grund af utilstrækkelig rammekonstruktion og manglende isolering.
- Brugere har klaget over træk fra vinduesåbninger til den naturlige ventilation.
- Problemer med, at det er for koldt i kontorlokaler mod nord.
- Bygningens udformning med frie åbninger mellem atriet og kontorområderne af hensyn til den naturlige ventilation har givet anledning til støjgener. Dette er forsøgt afhjulpet med opstilling af mobile støjabsorberende vægge i ca. 1,5 m's højde.

Ønsker til automatikforbedringer:

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

7.3 Målt energiforbrug

For KE's bygning er der indhentet data for det totale energiforbrug til el og varme for perioden 2007-2008.

Bygningen har et stort it-serverrum i kælderen med et højt elforbrug, der måles separat. Serverrummet understøtter KE's aktiviteter på hele Sjælland. Da elforbruget til server-rummet måles separat, er det muligt at trække dette fra bygningens totale elforbrug og sammenligne bygningens generelle elforbrug med andre bygninger af tilsvarende karakter.

Tabel 7 *Oversigt over el- og fjernvarmeforbrug i KE's kontorbygning.*

Energiforbrug [MWh]	Forbrug 2007 [MWh]	Forbrug 2008 [MWh]	Forbrug pr. areal Gennemsnit [kWh/m ²]
Elforbrug, totalt	1708,4	1747,2	108,0
Elforbrug, totalt ekskl. it-serverrum	1383,6	1409,1	87,3
Fjernvarmeforbrug, totalt	954,8	857,1	56,6

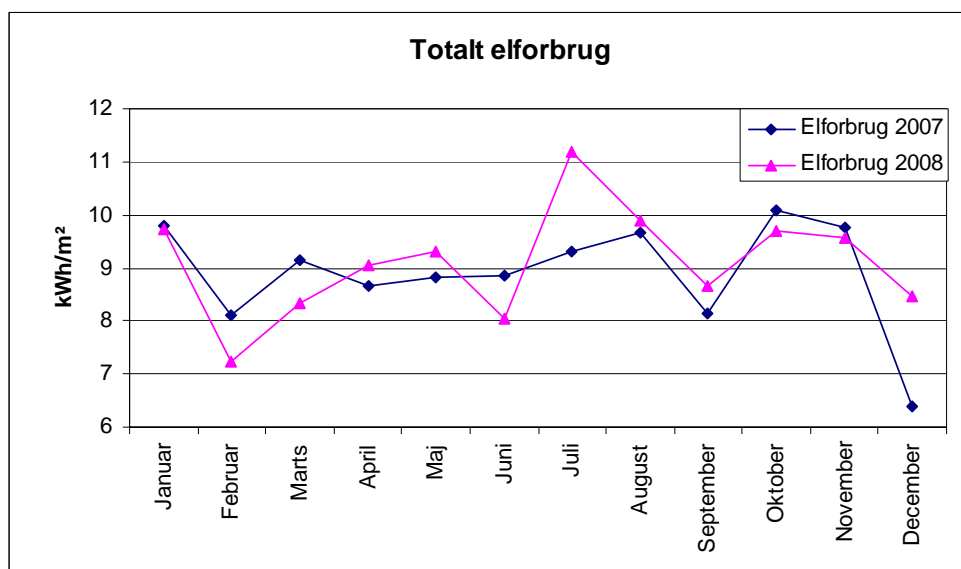
Elforbruget til serverrummet inklusive køling heraf udgør ca. 19 % af det totale elforbrug.

Bygningens komfortkøling står for 37,1 MWh med 1458 driftstimer. Det svarer til 2,1 % af det totale elforbrug.

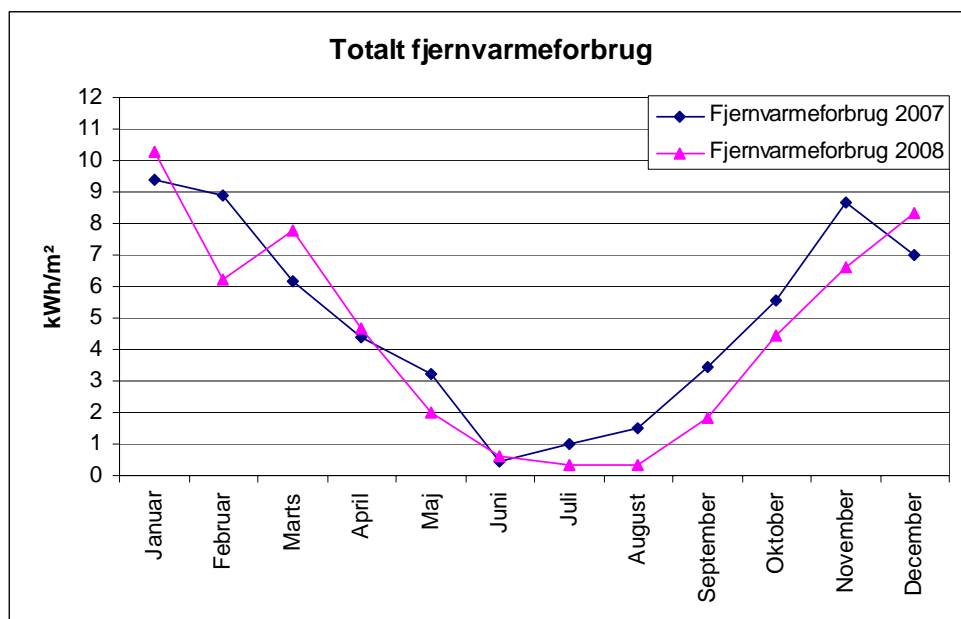
Det vurderes, at 50 % det totale elforbrug går til belysning, mens de resterende ca. 30 % går til øvrigt elforbrug.

Hvis der sammenlignes med ELO-nøgletal [11], hvor gennemsnitselforbruget er 67 kWh/m²/år, og gennemsnitsvarmeforbruget er 64 kWh/m²/år for kontorbyggeri, ses det, at KE-bygningens elforbrug er højere, mens varmeforbruget er lidt lavere.

Nedenstående ses månedsvariationen i elforbruget i 2007 og 2008.

Figur 23 *Bygningens elforbrug i 2007 og 2008.*

Bygningens fjernvarmeforbrug er vist på Figur 24. Fjernvarmeforbruget inkluderer energi til opvarmning af brugsvand.



Figur 24 Bygningens fjernvarmeforbrug i 2007 og 2008.

Nedenstående ses en oversigt med vandforbruget i 2007 og 2008.

Tabel 8 Vandforbrug og beregnet energiforbrug til opvarmning af varmt brugsvand.

Vandforbrug	2007	2008
Totalt [m³]	3.877	3.869
Varmt brugsvand [m³]	556	641
Varmtvands andel af det totale vandforbrug [%]	14 %	17 %
Varmtvand, anslået energi til opvarmning [MWh]	29,2	33,7

På baggrund af tal fra Tabel 7 og Tabel 8 kan det konkluderes, at ca. 3-4 % af bygningens samlede varmebehov går til opvarmning af det varme brugsvand. Inkluderes systemtab (varmetab fra rør mv.), er forbruget ca. det dobbelte, dvs. omkring 8 % af det samlede varmebehov.

I KE's bygning findes også en række bimålere til at måle separate elforbrug på de forskellige etager. Etagemålingerne kan bl.a. anvendes til at afregne med de firmaer, der lejer sig ind i bygningen. Nedenstående tabel viser en oversigt etagemålingerne.

Tabel 9 Etagemåling af "øvrigt elforbrug".

Etageflæsning [kWh]	2007	2008
Canon print/kopi	8.716	7.600
Stuen nord dør 0025	16.525	5.491
1.sal syd dør 1002	40.046	13.317
1.sal nord dør 1028	50.409	30.752
2.sal syd dør 2002	15.876	44.634
2.sal nord dør 2028	11.526	26.257
3.sal syd dør 3002	22.924	53.248
3.sal nord dør 3028	25.817	49.113
4.sal syd dør 4002	44.210	43.932
4.sal nord dør 4026	41.561	40.716
5.sal teknikrum syd dør 5014	6.634	2.253
Totalt, diverse elforbrug	286.251	319.321
Andel af det samlede elforbrug, ekskl. serverrum	21 %	23 %

Totalen i ovenstående tabel viser, at "øvrigt elforbrug" er målt til 21-23 % af det samlede elforbrug eksklusiv serverrum. Denne andel er noget anderledes end for Dan-Ejendomme bygningen, hvor elforbruget i kontorområdet udgjorde mindst 63 %. Dette tyder på, at det er forskelligt, hvordan elforbrug måles/ opgøres. Med andre ord, det kan være forskelligt, hvor mange komponenter der medtages ved de enkelte etagers elmålere. For KE's kontorbygning tyder det på, at strømforbruget til elforbrugende bygningskomponenter/automation på de enkelte etager registreres under fællesforbrug og ikke på etage-elmålerne.

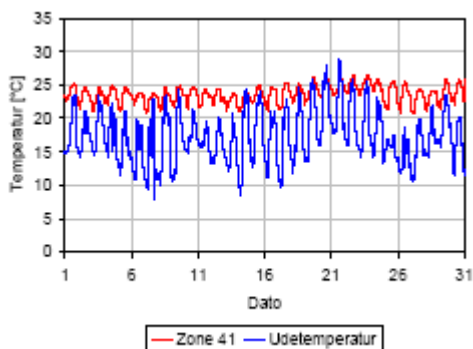
7.4 Indeklima

Aalborg Universitet har lavet en større indeklimateundersøgelse af KE's kontorbygning for perioden 1. juli 2005 - 30. juni 2006. Denne undersøgelse har ikke været en del af dette PSO-projekt. Se Appendiks 7. Udvalgte spotmålinger, brugerundersøgelsesresultater og en samlet vurdering af indeklima er præsenteret i det følgende.

7.4.1 Spotmålinger

Temperatur i bygningen

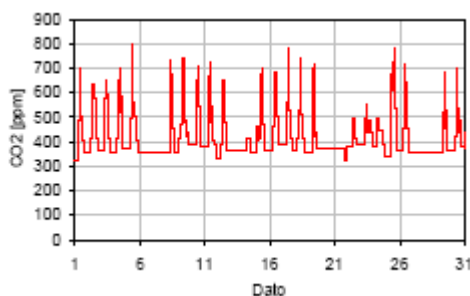
En måling af indetemperaturen i bygningen er vist på Figur 25. Udetemperaturen er vist på samme figur for også at kunne vurdere udetemperaturens påvirkning af indetemperaturen. Det ses, at indetemperaturen ligger jævnt omkring 23°C-25°C gennem hele august måned. Da udetemperaturen omkring den 19. august bliver højere, ses det, at der stadig opretholdes en rimelig temperatur inden for på grund af bygningens store termiske masse.



Figur 25 Indetemperaturen sammenholdt med udetemperaturen, august 2005.

CO₂-niveau

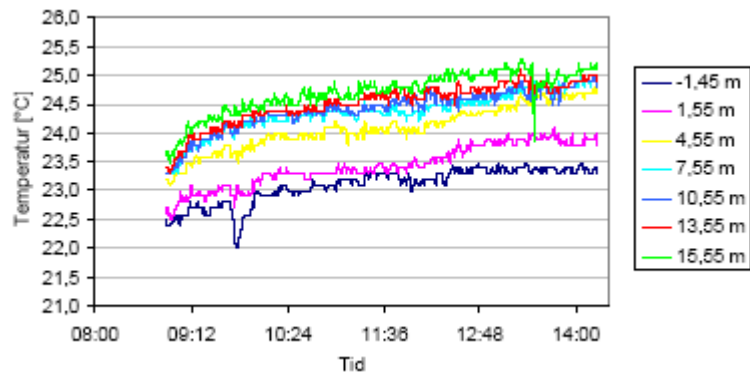
En måling af CO₂-niveauet i bygningen er vist på Figur 26. Det ses, at CO₂-koncentrationen ikke på noget tidspunkt i måleperioden overskrider anbefalede grænseværdier på 1000 ppm. Når der ses mere detaljeret på det, stiger koncentrationen forventeligt nok i løbet af arbejdsdagen og flader ud igen efter arbejdstidens ophør til udendørskoncentrationen.



Figur 26 CO₂-niveauet i zone 41 i juli 2005

Temperaturgradient i bygningen

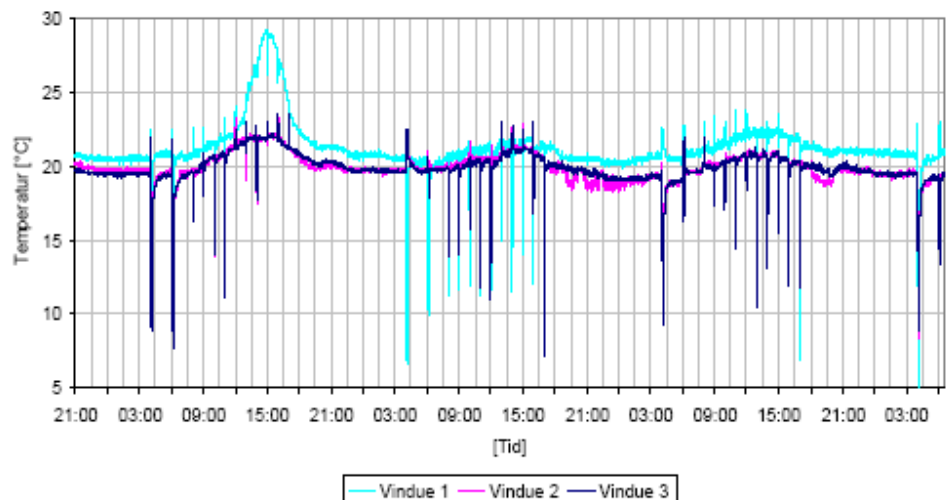
Bygningen er som nævnt naturligt ventileret via bl.a. et atrium i midten af bygningen. I den forbindelse har det derfor været interessant at måle temperaturgradienten op gennem bygningen. Resultatet er vist i Figur 1. Som det fremgår af målingerne, er temperaturforskellen op gennem bygningen kun på ca. 1,7°C, hvilket svarer til en temperaturgradient på ca. 0,1°C/m. Dette må betegnes som godt, og da målingerne desuden er foretaget torsdag, hvor bygningen en stor del af dagen var delvist lukket på grund af regn, kan det ud fra dette konkluderes, at opblandingen i bygningen er god.



Figur 27 Måling af temperaturer op gennem atriet en dag i august 2005. Højder angiver placering i forhold til gulvet i stueplan. Dvs. målingen placeret i -1,45 m er placeret over trappen på vej ned i kelderetagen.

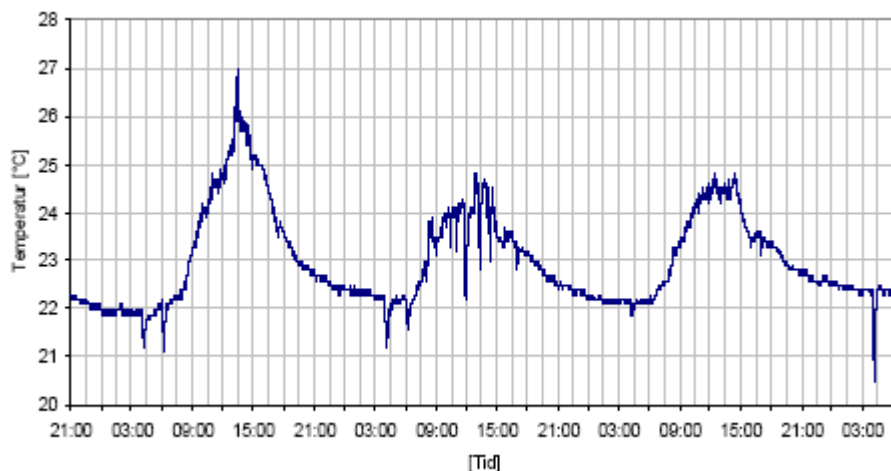
Temperaturer ved ventilationsvinduer

Det naturlige ventilationssystem er endvidere opbygget med ventilationsvinduer i facaderne. Når disse i det givne interval åbnes kortvarigt, kan det have indflydelse på oplevelsen af indeklimaet i nærheden af facaden. Nedenstående figur viser temperaturen målt ved disse vinduer nogle dage i februar. Der er i perioden benyttet pulsventilation, hvilket kan ses kurverne.



Figur 28 Temperaturer målt i indtaget ved vinduerne i zone 39 den 6.-10. februar 2006.

På trods af de lave lufttemperaturer vist på ovenstående figur ser det ud til, at indetemperaturen er acceptabel ved arbejdspladserne.



Figur 29 Temperatur målt på skrivebord i zone 39 den 6.-10. februar 2006. Bemærk, at den høje temperatur på op til 27°C kan skyldes direkte sol på måleren.

7.4.2 Samlet vurdering af indeklimaet

Termisk indeklima

Temperaturniveauet i bygningen ligger inden for de vejledende komfortintervaller i DS 474. Desuden er de lodrette gradienter i kontorerne små (under 1°C/m).

Under langtidsmålingerne blev der fundet følgende resultat for temperaturmålingerne:

52 timer > 26°C (gennemsnit for alle zoner)
8 timer > 27°C (gennemsnit for alle zoner)

hvilket også opfylder anbefalingerne fra DS 474.

I spørgeskemaundersøgelsen vurderes temperaturen i bygningen også overordnet positivt. Dog er det blevet påpeget af godt 40 % af de adspurgte i stueetagen, som er mekanisk ventileret, at der er for høje temperaturer. Dette bør kunne ændres blot ved ændring af reguleringen i denne zone. Ca. 55 % af brugerne i de sydvestvendte zoner klager over varierende temperaturer. Dette kan skyldes for dårlig brug af den manuelle solafskærmning, da det under måleperioderne er blevet noteret, at solafskærmningen sjældent benyttes. Er medarbejderne bevidste om, at der også skal bruges solafskærmning, selvom solen ikke direkte rammer en person og hermed generer?

Ved måling af lokale hastigheder i de to udvalgte målezoner blev der registreret højere lokale lufthastigheder under måleperioderne i sommer- og vinterperioden end anbefalet i DS 474. I sommermålingerne blev der målt op til 0,25 m/s i en almindelig driftssituation, hvilket svarer til godt 25 % utilfredse. I vinterperioden blev der målt op til 0,2 m/s, hvilket svarer til ca. 20 % utilfredse. Sammenlignes der igen med spørgeskemaundersøgelsen, er der også her indikeret

problemer med træk. Dette er især i zonerne mod syd, sydvest og vest, hvor op mod 50 % er utilfredse.

I zonerne med høj varmebelastning pr. m² kan det være svært at undgå træk, da der er en vis mængde varme, som nødvendigvis skal transporteres væk via den naturlige ventilation. Nedsættes ventilationen for at undgå træk, vil der i stedet blive for varmt i zonen. Ses der på anbefalingen i By og Byg Anvisning 202 [9], står der her, at en intern varmebelastning på mere end 30 W/m² kræver særlige overvejelser, hvis man vil benytte naturlig ventilation. I zone 39, som indeholder et call-center, er varmebelastningen vurderet til 34 W/m². Det bør derfor overvejes, om de persontætte zoner skal spredes over større områder for at få en mere jævn fordeling af den interne varmebelastning i bygningen.

Atmosfærisk indeklime

I forbindelse med vurdering af det atmosfæriske indeklime blev CO₂-koncentrationen i bygningen løbende målt via langtidsmålingerne. Herfra blev det konkluderet, at det atmosfæriske indeklime i bygningen er godt, og der er kun registreret få timer over 1000 ppm. Samme resultat blev også fundet ved korttidsmålingerne både i de enkelte zoner og i hele bygningen.

I forbindelse med spørgeskemaundersøgelsen blev luftkvaliteten også vurderet positivt på nær i den mekanisk ventilerede zone i stuestagen. I forbindelse med vurderingen af ubehagelig lugt udskiller zonerne mod sydøst sig fra de øvrige ved at have ca. 30 % utilfredse. Dette kan skyldes madlugt fra køkkenet, som er meget dominerende i dette område af bygningen. Dog skal det her noteres, at denne lugt var væsentligt reduceret under forårsmålingerne i bygningen, men at der stadig trækker madlugt op gennem elevatorskakten i dette område.

Ved vurderingen af den relative luftfugtighed i bygningen i vinter- og forårsmålingerne blev det konstateret, at anbefalingerne fra arbejdstilsynet i begge tilfælde er overholdt.

Luftskifte

Luftskiftet i bygningen blev både målt som en gennemsnitsværdi for hele bygningen samt lokalt i de to målezoner. I alle tilfældene var det målte luftskifte højere end det nødvendige vurderet ud fra CO₂-niveauet i zonen. Det anbefales dog ikke at nedsætte luftskiftet i bygningen på grund af den høje interne varmebelastning, som ville medføre for høje temperaturer ved mindre luftskifter.

Et alternativ kan være at benytte natventilationen mere aktivt og herved køle bygningen ned ved ventilation i løbet af natten. Denne nedkøling vil give en kølende effekt et stykke op ad dagen, hvilket kan give mulighed for mindre ventilation. Dette kan muligvis også reducere problemet med træk.

Bygningens infiltrationsluftskifte blev også vurderet i en aftenperiode, hvor alle åbninger var lukkede. Dette luftskifte er omkring 0,1 h⁻¹, hvilket indikerer en rimeligt tæt bygning.

Luftfordeling

Ved vurdering af både temperatur- og CO₂-gradienter op gennem bygningen er disse fundet små, hvilket viser, at der er en god opblanding af luften i bygningen og/eller et stort luftskifte.

I spørgeskemaundersøgelse er det af flere blevet angivet, at der er røglugt udenfor rygerummene. Under måleperioderne i bygningen blev det flere gange konstateret, at dørene til rummene var åbne, hvilket bestemt ikke er hensigtsmæssigt. Disse bør holdes lukket. Problemet kan yderligere afhjælpes ved at forøge udsugningen fra rummene og hermed forøge undertrykket og mindske mængden af røg der "siver" ud fra rummet.

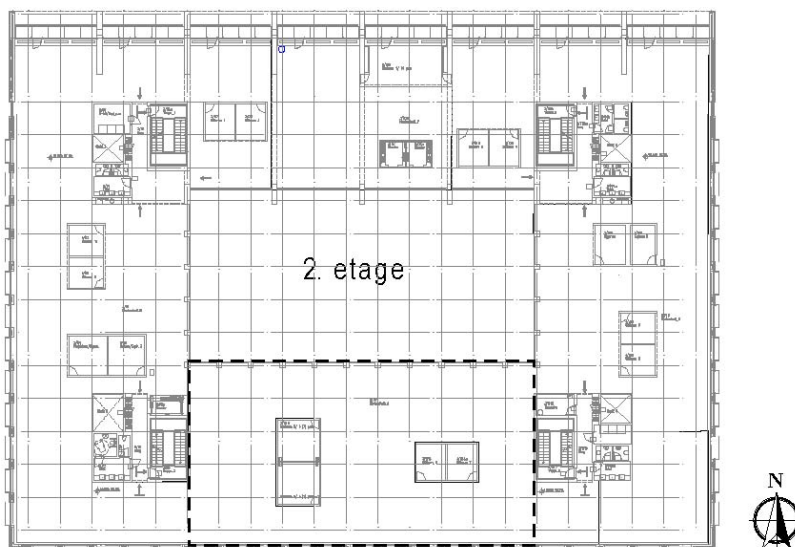
7.5 Simulering med BSim

AAU har leveret en omfattende analyserapport med tilhørende simuleringresultater: "Analyse af forventet energiforbrug og indeklima via et ALFA og BETA koncept" - Københavns Energis bygning som Case. Se Appendiks 4 og 5.

I simuleringerne er den pågældende bygningsydeevne og følgende spørgsmål undersøgt:

- Hvor stort et besparelsespotential kan der forventes på energiforbruget ved en ALFA-bygning frem for en BETA-bygning og ved forskellige parametervariationer?
- Førringes 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 ved skift fra en BETA-bygning til en ALFA-bygning?

Nedenstående figur viser det simulerede bygningsareal.



Figur 30 *Plantegning af 2. sal hvor kontorudsnittet er orienteret mod syd i simuleringerne (i virkeligheden vender den mod øst). Det betragtede område er afgrænset med stiplede linie.*

Forudsætninger for simulering

For at undersøge dette er en lang række simuleringer blevet gennemført. En oversigt over disse ses i Tabel 10. Der er opstillet cases for hver indeklimakategori for henholdsvis en ALFA- og BETA-bygning. Til hver kategori er der lavet otte simuleringer, hvor der foretages en variation af fire parametre: Termisk masse, solafskærmning, intern belastning og belysning samt en standard case til sammenligning. Variationen af den interne belastning dækker over variation i varmetilskuddet fra udstyr såsom computere, pc-skærme, printere etc. Dermed er bygningens ydeevnes følsomhed undersøgt i forhold til ændring af de fire parametre.

Casen UDGA er basismodellen af bygningen svarende til dens styring i dag med den aktuelle termiske og atmosfæriske belastning. Bygningen er i dag kategoriseret som en ALFA-bygning, da den primært er naturligt ventileret, og hvert individ har mulighed for at påvirke egen komfort ved at manuelt at åbne et vindue.

Simuleringerne er udført i programmet BSim, hvor der er opbygget en model for kun et afgrænset kontorafsnit og dermed ikke hele bygningen, da dette ville blive for komplekst. Der er valgt et repræsentativt kontorudsnit på ca. 550 m², som er orienteret imod syd.

Table 10 *Overview of BSim simulations on Copenhagen Energy.*

CASE	Koncept for styringsstrategi, ventilation og forventning til indeklima	Faktor	Variation
UDGA	KE udgangspunkt	Standard	Standard
AA01	ALFA Kategori I (klasse A)	Standard	Standard
AA02 AA03		Bygningsmasse	+ 25 % - 25 %
AA04 AA05		Solafskærmning	Ingen Betydelig
AA06 AA07		Intern belastning	+ 25 % - 25 %
AA08 AA09		Lysregulering	Ingen Betydelig
AB01	ALFA Kategori II (klasse B)	Standard	Standard
AB02 AB03		Bygningsmasse	+ 25 % - 25 %
AB04 AB05		Solafskærmning	Ingen Betydelig
AB06 AB07		Intern belastning	+ 25 % - 25 %
AB08 AB09		Lysregulering	Ingen Betydelig
AC01	ALFA Kategori III (klasse C)	Standard	Standard
AC02 AC03		Bygningsmasse	+ 25 % - 25 %
AC04 AC05		Solafskærmning	Ingen Betydelig
AC06 AC07		Intern belastning	+ 25 % - 25 %
AC08 AC09		Lysregulering	Ingen Betydelig
BA01	BETA Kategori I (klasse A)	Standard	Standard
BA02 BA03		Bygningsmasse	+ 25 % - 25 %
BA04 BA05		Solafskærmning	Ingen Betydelig
BA06 BA07		Intern belastning	+ 25 % - 25 %
BA08 BA09		Lysregulering	Ingen Betydelig
BB01	BETA Kategori II (klasse B)	Standard	Standard
BB02 BB03		Bygningsmasse	+ 25 % - 25 %

BB04 BB05		Solafskærmning	Ingen Betydelig
BB06 BB07		Intern belastning	+ 25 % - 25 %
BB08 BB09		Lysregulering	Ingen Betydelig
BC01	BETA Kategori III (klasse B)	Standard	Standard
BC02 BC03		Bygningsmasse	+ 25 % - 25 %
BC04 BC05		Solafskærmning	Ingen Betydelig
BC06 BC07		Intern belastning	+ 25 % - 25 %
BC08 BC09		Lysregulering	Ingen Betydelig

Nedenstående ses de parametre, som simuleringsmodellerne er opbygget efter. Hertil kan suppleres, at BETA-bygningen er mekanisk ventileret med køling, og at der er anvendt et ventilationsanlæg med varmegenvinding, hvor virkningsgraden er på 70 % samt en samlet effektivitet af motor, ventilator etc. ligeledes på 70 %. Endvidere er anlægget antaget at være med variabel luftydelse, hvor det specifikke elforbrug til lufttransport ikke overstiger 2500 J/m³.

Table 11 Systemer og deres regulering for case UDGA. Parametrene markeret med gråt ændres i afhængighed af indeklimakategori (se Tabel 1).

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	Særllys 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

Hovedkonklusioner

Simuleringerne gav følgende konklusioner på de tre spørgsmål:

Hvor stort et besparingspotentiale kan der forventes på energiforbruget ved en ALFA-bygning frem for en BETA-bygning og ved forskellige parametervariationer?

- Der er et besparelsespotentiale ved at opføre en ALFA-bygning frem for en BETA-bygning. Besparelsespotentialet for den pågældende bygning er beregnet til at ligge i intervallerne 23 - 30 kWh/m², 16 - 24 kWh/m² og 9 - 20 kWh/m² om året for henholdsvis indeklimakategori I, II og III.
- Parametervariationerne viser, at det er en fordel med en tung bygning (stor termisk masse), da det vil give færre udsving i temperatur, og både varme- og kølebehov kan reduceres.
- Anvendelse af solafskærmning giver som forventet lavere kølebehov, men dog også højere varmebehov.
- Det laveste energiforbrug opnås ved cases med betydelig lysregulering både for ALFA- og BETA-bygningen uafhængig af indeklimakategori.

Fornings den termiske og atmosfæriske komfort afgørende ved skift fra en BETA-bygning til en ALFA-bygning?

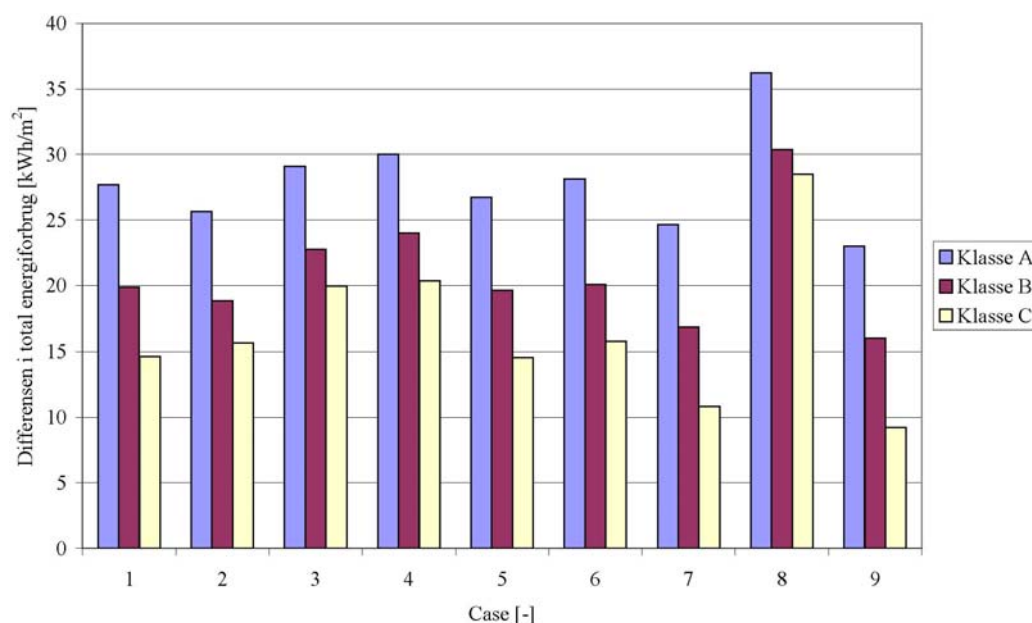
- For det atmosfæriske indeklima må en højere grad af diskomfort for ALFA-bygningen forventes periodevis som følge af for høj CO₂-koncentration i indeluften. Hybrid ventilation kunne være en løsningsmulighed, hvis kapaciteten af den naturlige ventilation er utilstrækkelig i for lange perioder. For den mekanisk ventilerede BETA-bygning bør der ikke kunne opstå problemer med det atmosfæriske indeklima.

Kan bygningen overholde de vejledende krav til maksimal overskridelse af temperaturen jævnfør DS 474 ved skift fra en BETA-bygning til en ALFA-bygning?

- For ALFA-bygningen kan der ved styring efter indeklimakategori I samt ved optimering af styringen og bygningsudformningen opnås, at den operative temperatur holdes inden for det vejledende jævnfør DS 474.

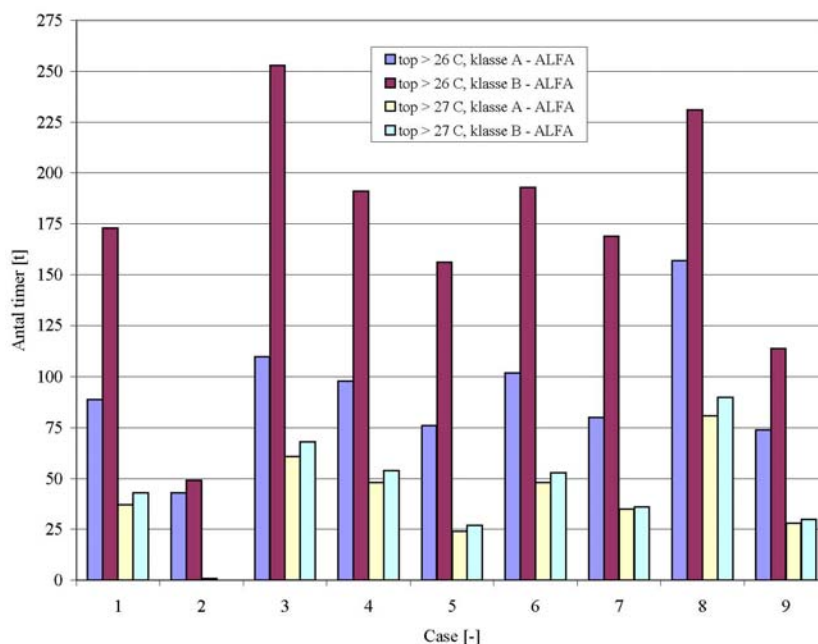
Figurer og øvrige konklusioner

Besparingspotentialet i energiforbrug ved en ALFA-bygning frem for en BETA-bygning, der blev angivet under hovedkonklusionerne, fremgår af nedenstående figur. Det skal dog bemærkes, at der er set bort fra case 8 uden lysregulering, da denne giver det højeste energiforbrug.



Figur 31 *Differensen i det totale energiforbrug mellem BETA- og ALFA-bygningen. (Klasse A, B og C svarer til kategori I, II og III).*

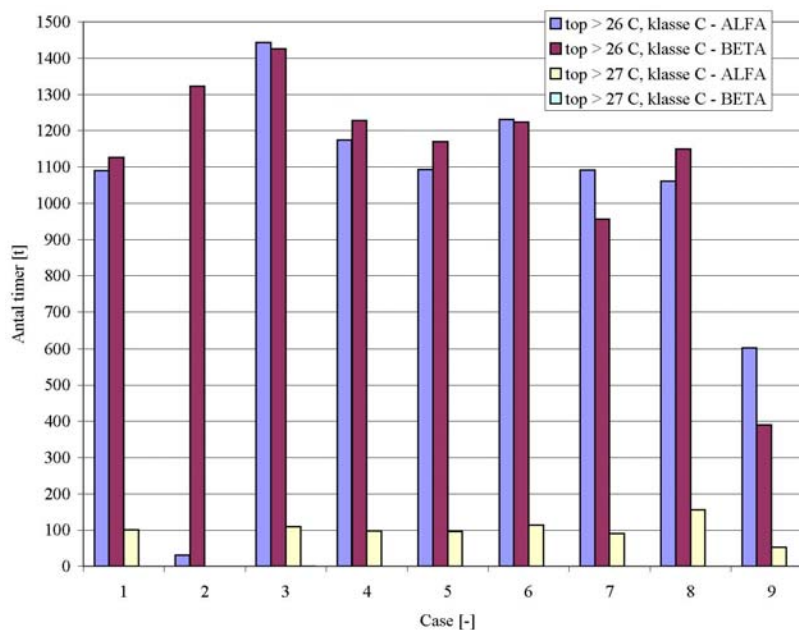
I DS 474 er det angivet, at antallet af timer over 26°C og 27°C ikke bør overskride henholdsvis 100 timer og 25 timer for et typisk år. Antallet af timer, hvor den operative temperatur, t_{op} , er højere end 26°C og 27°C i afhængighed af parametervariation for ALFA-bygningens kategori I og II, er opsummeret på nedenstående figur. BETA-bygningen er ikke medtaget, da den ikke overskrider temperaturgrænserne på grund af indstillingerne for setpunkt til køling.



Figur 32 Antal timer hvor den operative temperatur, t_{op} , overskrider henholdsvis 26°C og 27°C i forhold til parametervariation ved kategori I og II for ALFA-bygning. (Klasse A og B svarer til kategori I og II).

Figur 32 viser at ALFA-bygningen i næsten alle cases kan klare kravet på maks. 100 timer over 26°C , men det er lidt sværere at komme ned på de maksimale 25 timer over 27°C . Antallet af timer, hvor temperaturen er højere, er i "worst cases" 70-90 timer.

For kategori III (klasse C) overskrides den operative temperatur både for ALFA- og BETA-bygningen. Antallet af timer, hvor dette sker, ses i nedenstående figur.

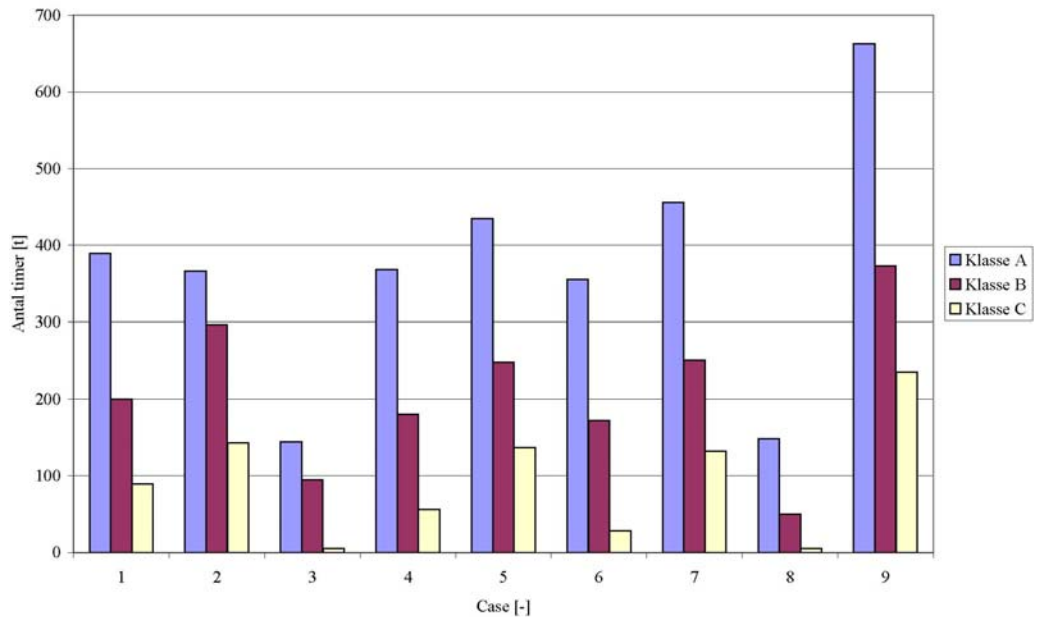


Figur 33 Antal timer hvor den operative temperatur, t_{op} , overskrider henholdsvis 26°C og 27°C i forhold til parametervariation ved kategori III (klasse C) for ALFA- og BETA-bygning.

Figur 33 illustrerer, at med kategori III kan grænsen for maksimalt 100 timer over 26°C langt fra overholdes for både ALFA- og BETA-bygningen, hvilket er forventet på grund af definitionen af kategori III, der tillader op til 27°C om sommeren.

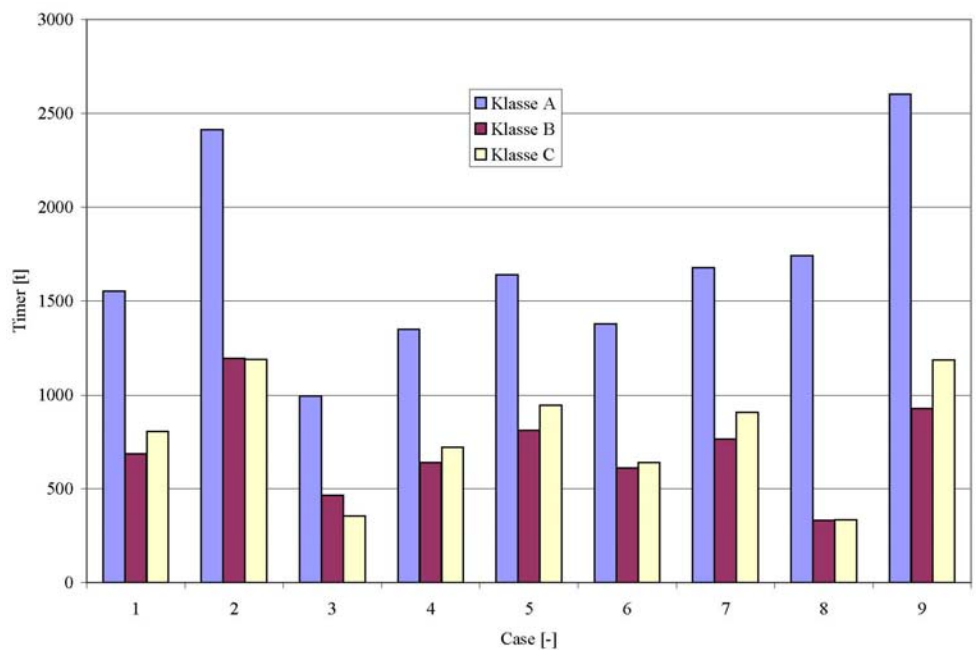
Af både Figur 32 og Figur 33 fremgår det (af case 2)- at antallet af timer over henholdsvis 26°C og 27°C minimeres, når den termiske bygningsmasse øges.

Nedenstående figur viser antal timer, hvor CO₂-koncentrationen i ALFA-bygningen overskrider den øvre værdi. Antallet af timer er højest for kategori I, da denne klasse har det skrappeste krav. Denne figur antyder, at den naturlige ventilation også bør styres efter CO₂-koncentrationen.



Figur 34 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 kategori I, II og III (klasse A, B og C).

På Figur 35 herunder ses antal timer i brugstiden, hvor det nødvendige luftskifte ikke er til stede. Både denne figur og Figur 34 indikerer, at det kunne være nødvendigt med et større åbningsareal og eventuelt supplerende hybrid ventilation for at øge det termiske drivtryk. Begge figurer angiver dog ikke, hvor meget de øvre værdier overskrides.



Figur 35 Antal timer i brugstiden, hvor det nødvendige luftskifte ikke er til stede i ALFA-bygningen. (Klasse A, B og C svarer til kategori I, II og III).

Herunder er en række øvrige konklusioner og kommentarer:

- For kategori II (klasse B) er det årlige energiforbrug ca. 40 kWh/m² for ALFA-bygningen og ca. 60 kWh/m² for BETA-bygningen (ved den mest fordelagtige kombination af parametre, henholdsvis case AB09 og BB09 begge med "betydelig lysregulering").
- For disse cases er antallet af timer, hvor den operative temperatur overskrider 26°C og 27°C, henholdsvis 72 og 24 timer for ALFA-bygningen. For BETA-bygningen er antallet nul.
- Endvidere for disse cases er det forventede antal timer for ALFA-bygningen, hvor CO₂-koncentrationen vil overskride designværdien, fundet til at være 373 timer. For BETA-bygningen er det nul.
- 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 optimeres. Herunder vil en optimering af bygningens ydeevne også kræve en vægtning af energi til opvarmning og el inklusive COP-værdiens indflydelse på energiforbruget til køling.
- Parametervariationerne gav en række konklusioner i forhold til hensigtsmæssig styring og styringsstrategi. Disse er samlet i afsnit 9.2 "Optimeret styring og styringsstrategi".
- Der er endvidere lavet en grafik, der viser profilet for temperaturglid i bygningen sammenholdt med energiforbruget. Dette findes under afsnittet "Fleksible komfortkrav".

Sammenligning af simuleringsresultater med faktiske tal

Det faktiske energiforbrug (gennemsnit af 2007 og 2008) for Københavns Energis domicil er oplyst til at være 108,0 kWh/m² og 56,6 kWh/m² for henholdsvis el- og varmekonsum. Fratrækkes serverrummet, der også servicerer andre ting end den pågældende bygning, kommer elforbruget ned på 87,3 kWh/m².

Både for ALFA og BETA er det simulerede energiforbrug en del mindre. Det skyldes især varmekonsumet, der i simuleringerne er meget lille og næsten ikke eksisterende. Afvigelserne kan skyldes følgende:

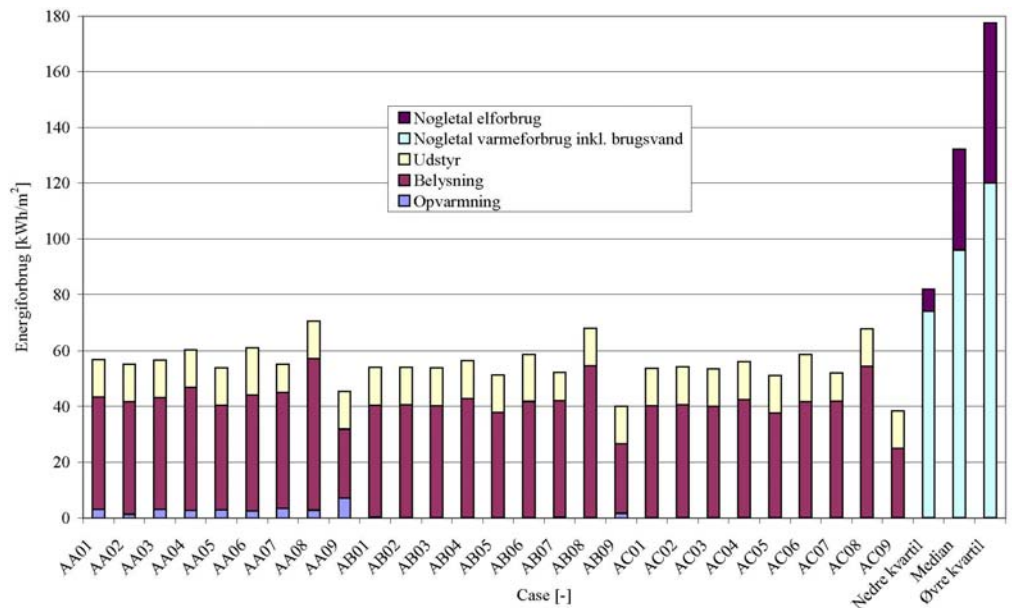
- Overventilering, hvilket medfører et større energiforbrug til opvarmning, da vinduerne for den naturlige ventilation er åbne oftere end designet.

I indeklimaundersøgelsen hos Københavns Energi foretaget i perioden 1. juli 2005 til 30. juni 2006 lavet af Aalborg Universitet blev konkluderet, 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 indeklimakategori I (klasse A). Forklaringen herpå var overventilering, hvilket tyder på, at det kan være svært at regulere naturlig ventilation, eftersom vinduerne må være åbne mere end nødvendigt.

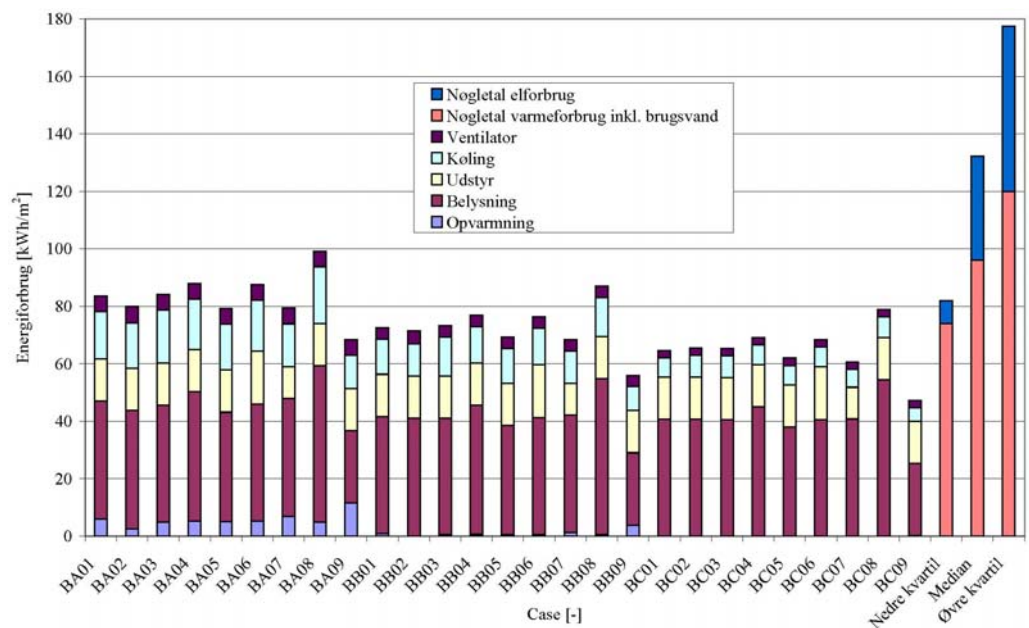
- For BETA-bygningen kan det forhøjede energiforbrug i forhold til ALFA-bygningen tilskrives ventilationsanlægget med mekanisk køling.
- Der er kun simuleret et kontorudsnit af bygningen. Energiforbruget kan være en del højere andre steder i bygningen, f.eks. i stueetagen med køkken og mekanisk ventilation. Desuden er det ikke sikkert, at alt elforbrug medregnes i BSim.
- 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 kan afvige fra det faktiske vejr.
- Der er regnet på kontorudsnit mod syd, hvor der må forventes stort varmetilskud fra solen i forhold til andre områder i bygningen.
- Der er regnet med selvstændig lille zone med nabozoner, der grænser op til den pågældende zone med samme temperatur. Den åbne forbindelse til de andre kontorområder er svær at modellere korrekt.
- Der er måske regnet med for høje varmebidrag fra belysning, udstyr (computere, skærme, printere etc.) og mennesker svarende til den interne belastning.
- Måske er der andre varmetab, som ikke er medregnet.

I alt i alt er der tale om en simuleringsmodel med mange variable faktorer, der kan have betydning for udfaldet af f.eks. energiforbruget. Vigtigt var også at undersøge tendenser for indeklima og energiforbrug ved sammenligning af forskellige bygningskategorier, ALFA og BETA, herunder betydningen af naturlig ventilation og fleksible komfort krav.

Herunder ses figurerne med simuleringsresultatet for de forskellige cases. På begge figurer er der sammenlignet nogle typiske nøgletal for kontorbyggeri taget fra energihåndbogen [11]. Disse tal er baseret på indrapportering i 1997-2002. Varmeforbruget indeholder varmt brugsvand og elforbruget totalt elforbrug (diverse udstyr), hvilket kan være med til at forklare højere energiforbrug i forhold til det simulerede.



Figur 36 ALFA-bygningens energiforbrug simuleret i Bsim. Energiforbruget varierer efter case og indeklimakategori.

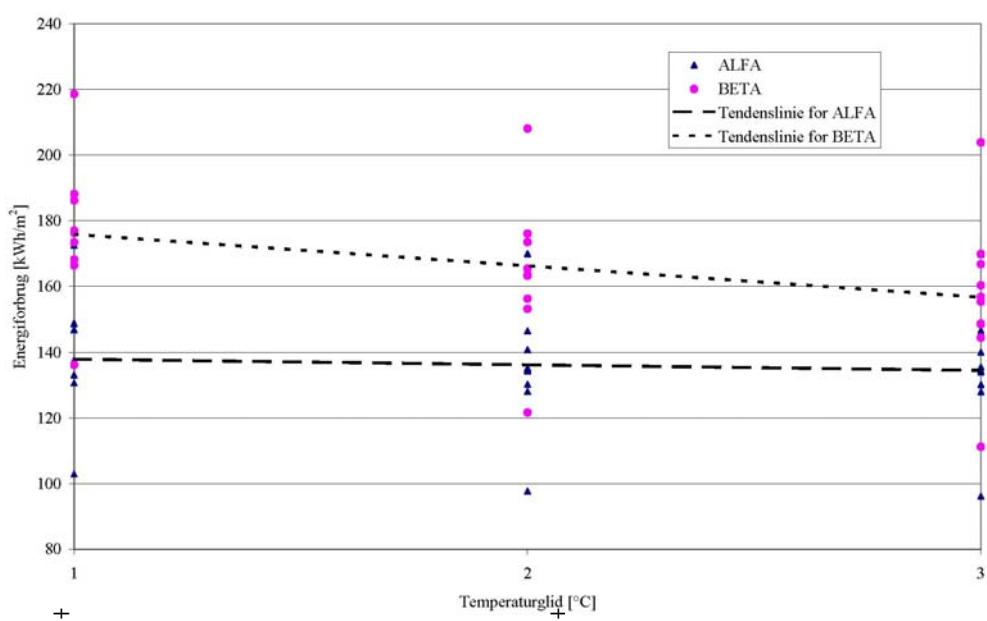


Figur 37 BETA-bygningens energiforbrug simuleret i Bsim. Energiforbruget varierer efter case og indeklimakategori.

7.6 Energiforbrug versus temperaturglid

På baggrund af simuleringseresultaterne er der konstrueret en figur, der viser det såkaldte temperaturglid, svarende til det teoretiske (men ikke nødvendigvis opnåede/faktiske) interval for variation af den operative temperatur som funktion af energiforbruget for henholdsvis ALFA- og BETA-bygningen. Af Figur 38 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 både energimæssig og økonomisk besparelse ved accept af større temperaturglid end for BETA-bygningen. Selvom tendenslinjen for ALFA-bygningen er næsten vandret, dækker den over væsentlige forskelle i indeklimaet. Umiddelbart kan man sige, at jo mindre temperaturglid, jo bedre indeklima (termisk komfort), men et større temperaturglid betyder også, at forskellen mellem inde- og udetemperaturen bliver mindre, hvilket i nogle tilfælde kan være en fordel - f.eks. at man på en sommerdag med let påklædning ikke kommer til at fryse, hvilket kunne være tilfældet i en bygning med fast lavt setpunkt for komfortkølingen.



Figur 38 Beregnet profil for temperaturglid versus energiforbrug for KE ejendommen. Figuren viser primært energiforbrug pr år. Temperaturglid-skalaen (± 1 , ± 2 og ± 3) svarer til kategori I, II og III i vintersituationen.

Figuren viser, at besparelespotentialer er ca. 2 kWh/m²/år for ALFA-bygningen og ca. 19 kWh/m²/år for BETA-bygningen, når designkategori I og III sammenlignes. I disse yderpunkter er forskellen mellem ALFA og BETA henholdsvis ca. 39 og 22 kWh/m²/år (primær energi). Da der er tale om tendenslinjer, hvor nogle af punkterne ligger langt fra, skal man dog være påpasselig med konkrete energimæssige sammenligninger.

8 Perspektiver og konklusioner

Energioptimering af bygninger vil i mange tilfælde resultere i energibesparelser på mellem 5 og 15 % ifølge TAC (Appendiks 8), ofte med en tilbagebetalingstid på mindre end 2 år. Der er forskel på behov og potentiale fra bygning til bygning. Erfaringen viser, at flere former for eksisterende bygningsautomatik kan opdateres med en betydelig effekt. Den økonomiske krise har medført et historisk lavt renteniveau. Så selv om mange er tilbageholdende, kan det betale sig at investere i et lavere energiforbrug.

Optimering af en kontorbygningens indeklima medfører lavere driftsomkostninger, men kan også give en økonomisk gevinst ved, at de ansatte arbejder mere effektivt. Flere rapporter, [12] og [13], konkluderer, at en indendørs temperatur på 22-25°C er optimal. For hver grad lavere eller højere reduceres effektiviteten med 4 % (Appendiks 8). Når indeklimaet forbedres, gavner det også virksomheden i form af et lavere sygefravær. Effektivt fungerende ventilation medvirker således til både at sikre et optimalt arbejdsmiljø og et lavt energiforbrug. Hvis der f.eks. er tale om et rum, hvor antallet af personer varierer over tid, kan det være en fordel at installere CO₂-styret ventilation. Registreres få personer i lokalet, nedsættes luftskiftet – registreres mange personer, øges det.

Gældende for kontorbyggeri med udgangspunkt i de to analyserede bygninger er der draget en række erfaringer. Bygningerne er analyseret gennem besigtigelse, indhentning af faktiske energiforbrug og udførelse af bygningssimulering for undersøgelse af termisk og atmosfærisk indeklima og forventet energiforbrug. Nedenstående tabel viser de vigtigste resultater af forskellige parametervariationer foretaget i bygningssimuleringerne.

Tabel 12 Resultater af parametervariationer i forbindelse bygningssimulering af de to kontorbygninger. Resultater indikerer parametervariationens betydning for energibehov og indeklime.

Parametervariation	Resultat
Temperaturinterval ("glid") på 21-23°C eller 20-25°C	Energibesparelse 6-7 % svarende til 15 kWh/m ² /år (primærenergi). Det skyldes især et lavere kølebehov, fordi setpunktet for køling er højere.
Naturlig ventilation eller mekanisk ventilation (ALFA eller BETA bygning)	Med risiko for lidt lavere komfort er der et stort energibesparelspotentiale ved naturlig ventilation (15-28 kWh/m ² /år).
Indeklimakategori I, II eller III	Jo lavere kategori, jo mindre komfort, men lavere energiforbrug.
Tung eller let bygning (termisk masse)	Færre temperaturudsving og lavere varme- og kølebehov ved en tung bygning.
Solafskærmning (primært udvendig)	Type og størrelse skal tilpasses alt efter, hvilken retning et vindue orienterer. Giver lavere kølebehov, men kan også give mindre varmetilskud eller dagslys fra solen.
Lysregulering	Lysregulerings mulighed er vigtig, da belysning står for en stor del af elforbruget.
Intern belastning (PC udstyr mv.)	Det bør vælges energieffektivt udstyr for at minimere køle- og ventilationsbehovet.

Erfaringerne opnået på baggrund af bygningssimuleringerne kan være til nytte i en beslutningsproces og i forbindelse med design af nye bygninger samt ved renovering af eksisterende bygninger.

Den generelle konklusion for de to undersøgte kontorbygninger er, at indeklimakategoriene og DS 474 kan overholdes, når setpunkter for opvarmning og især køling sættes derefter. Dog kræver det et højere energiforbrug, jo højere krav der er til temperaturintervallet - kategori I (klasse A) med det mest snævre temperaturinterval resulterer i det højeste energibehov. Dette understøttes også af temperaturmålingerne i de to kontorbygninger.

Selvom reducerede krav til indeklimaet kan give et lavere energiforbrug, er det vigtigt, at bygningen som minimum overholder indeklimakategori III af hensyn til bygningsbrugerne. En idé kunne være at udforme en form for indeks mellem brugertilfredshed (indeklime) og energiforbrug til brug både i forbindelse med simuleringer, men også til hjælp ved bygningsdriften. Det vil give mulighed for at lave en samlet optimering af bygningens ydeevne.

Simuleringerne viser at især, at betydelig lysregulering og ekstra termisk masse giver gode betingelser for overholdelse af temperaturkravene, samtidig med at der opnås et lavt energibehov. Herudover giver naturlig ventilation et lavere energibehov, men kan også gøre det lidt sværere at opnå de højeste temperaturkrav (indeklimakategori I).

I projektet er der også set på de aktuelle energiforbrug i de to undersøgte bygninger. Nedenstående tabel viser en oversigt med de overordnede el- og fjernvarmeforbrug.

Tabel 13 Anslåede aktuelle energiforbrug i de to kontorbygninger sammenlignet med erfaringstal.

Bygning / erfaringstal	El	Fjernvarme
	kWh/m ² /år	kWh/m ² /år
Dan-Ejendommens kontorbygning	103	56
Københavns Energis kontorbygning	87	57
ELO nøgletal [11]	67	64

I tabellen sammenlignes der med nogle erfaringstal (ELO nøgletal). Disse tal er baseret på opgørelser for typisk kontorbyggeri. Elforbrug er for begge bygninger højere end ELO-tallet, hvilket kan skyldes, at der generelt er kommet mere elektronik (ELO-tallene er fra 2002, men kan være baseret på målinger, der går endnu længere tilbage). Det højere elforbrug, indikerer dog, at er potentiale for mere energirigtig bygningsautomation.

Med hensyn til fjernvarmeforbrug ligger begge bygninger dog lidt under ELO-tallet, hvilket indikerer, at bygningerne er bedre isoleret end gennemsnittet af de bygninger, ELO-tallet er baseret på. Det store elforbrug kan dog også være med til at reducere varmeforbruget pga. varmeafgivelse fra el-udstyr. Dette kunne især være tilfældet for DE-bygningen, der kategoriseres som en let bygning pga. mindre termisk masse. Denne bygning fjernvarmebehov var måske større, hvis der ikke var så højt et elforbrug.

Noget af det højere elforbrug i DE-bygningen kan tilskrives de it-serverrum, som findes i bygningen. Det er vigtigt, at elforbruget til sådanne serverrum måles separat, så øget forbrug kan registreres. Det giver mulighed for at vurdere om der bør skiftes til mere energieffektive servere samt kølesystem.

Ved sammenligning af de to bygninger, kan noget af det højere elforbrug i DE-bygningen også skyldes den mekaniske ventilation. Københavns Energis bygning er designet med naturlig ventilation og ekstra termisk masse (tung bygning), hvilket vurderes generelt at være udslagsgivende i forhold til at opnå et lavere energiforbrug.

Ved granskning af den benyttede bygningsautomation i de to bygninger kan der bl.a. drages følgende konklusioner:

- Der mangler el- og energimålere til at give et samlet overblik over den enkelte bygning energiforbrug. Det vil kunne skabe større fokus på energi i den daglige bygningsdrift.

- Der burde have været separat måling på de forskellige typer energiforbrug til belysning, ventilation, køling, PC'er mv.
- Bedre lysstyring ønskes: Opdeling af loftlys i mindre grupper og mulighed for dæmpning/regulering af lysstyrke.
- Bedre styring af solafskærmning ønskes: Ét samlet styresystem pr. bygning.
- Begge bygninger oplever lidt problemer med træk/kuldenedfald. Det skyldes i det ene tilfælde vinduesåbningerne for naturligventilation og i det andet tilfælde kølebafler. I begge tilfælde kan det være, at personer sidder for tæt på, dvs. at kontoret er indrettet anderledes end udgangspunktet. Men det kan også skyldes, at zoneinddelingen ikke er optimal.
- Generelt er korrekt zoneinddeling vigtig, således at der bl.a. ikke er kulde- og varmeproblemer på samme tid.

Overordnet kan det konkluderes, at projektet har bekræftet de to hypoteser/ udviklingsmål:

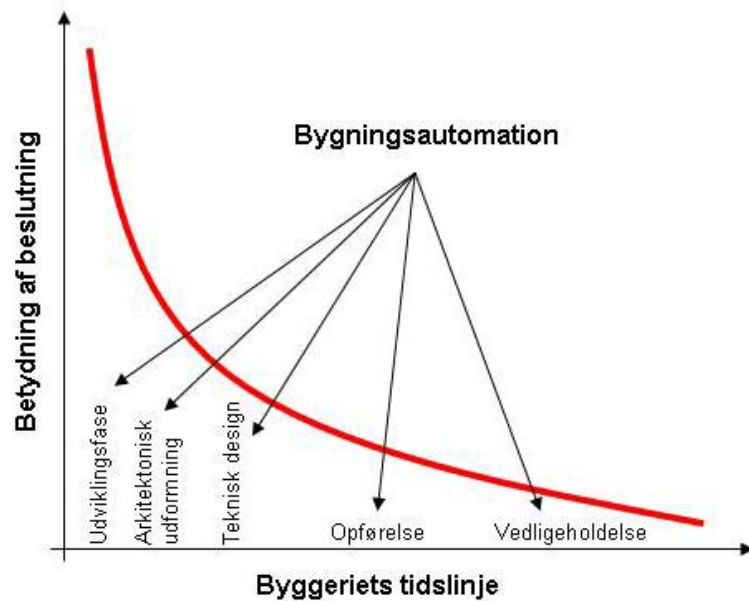
- Der kan opnås et godt/bedre indeklima og lavere energiforbrug med forenklede automationsløsninger.
- Der kan spares meget energi ved en mere fleksibel udnyttelse af de eksisterende indeklimakrav og komfortzoner i forbindelse med dimensionering og drift af bygninger samt varme-, køle- og ventilationssystemer.

9 anbefalinger

Dette afsnit indeholder anbefalinger vedrørende energirigtig bygningsautomation forud for en fase 2, som dette projekt lægger op til. I den efterfølgende fase er det intentionen at demonstrere og dokumentere de udviklede forbedrede automationsløsninger i praksis på konkrete byggerier. Målet er at vise, at man med forenkede løsninger kan opnå reducerede energiforbrug samtidigt med et godt indeklima og at anvise retningslinjer herfor. Erfaringen viser, at der i byggebranchen er et stort behov for at sammenfatte og dokumentere de gode løsninger i en guideline som inspiration til leverandører, projekterende og de udførende. Anbefalingerne i dette afsnit kan ses som første trin i udformningen af en sådan guideline.

Erfaringer viser, at godt bygningsautomationsdesign (med overvågnings- og styringsmuligheder for driftspersonalet) ofte bliver sparet væk i byggeprocessen. Denne besparelse kan dog give bagslag senere, når bygningen tages i drift, og der haves et højere energiforbrug. Løsningen er dog heller ikke overdreven brug af automatik, da denne automatik også har et eget forbrug til el og betydelige investeringsomkostninger. Derfor skal målet være at designe og bestykke en bygning kun med den mængde automatik, der er nødvendig for at opretholde et godt indeklima, samtidig med at energiforbruget begrænses mest muligt.

Derudover er det vigtigt, at rådgivere og bygningsautomationsfirmaer involveres så tidligt i et byggeprojekt som muligt i forbindelse med især større byggerier, så der samlet set bliver valgt bygningsdesign, automatikkomponenter og tilhørende styringsstrategier, der fungerer optimalt sammen og giver et godt indeklima og lavt energiforbrug. Nedenstående figur illustrerer vigtigheden af, hvornår beslutninger træffes i et byggeprojekt bl.a. for bygningsautomation.



Figur 39 *Betydning for energiforbrug mv. ved at indtænke bygningsautomation i byggeprocessen. Jo før der er energirigtig bygningsautomation, jo større potentiale er der for energibesparelser. Omkostninger ved beslutning om ændringer er omvendt proportional med den viste kurve.*

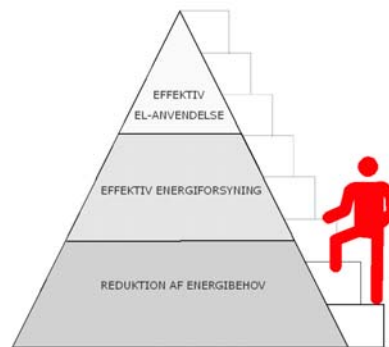
9.1 God praksis for optimeret og energirigtigt bygningsdesign og -automatik

Fremgangsmåden for at sikre optimeret energi- og bygningsdesign kan inddeles i tre trin. Først reduceres energibehovet mest muligt, ses der på effektiv anvendelse af energiforsyningen, hvorefter der fokuseres på effektiv el-anvendelse. I forbindelse dokumentation af lovgivningens energikrav, hvor der skal anvendes beregningsprogrammet Be06, vil de to nederste trin "effektiv energiforsyning" og "reduktion af energibehov" skulle indgå i energiberegningerne, mens det øverste trin ofte går fri, da der er tale om "små" egetforbrug.

Anbefalingerne opdelt i 3 trin gennemgås i det følgende.

9.1.1 Reduktion af energibehov - hovedvægt på bygningsudformning

Der er på dette trin tale om passive tiltag dvs. bygningsmæssige løsninger, som i sig selv er hensigtsmæssige i forhold til at reducere bygningens energiforbrug mest muligt. Forslag til reduktion af energibehov i forbindelse med valg af bygningsdesign er følgende:

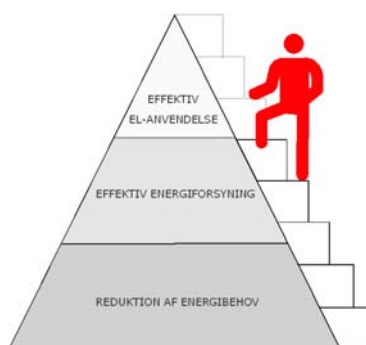


- Kompakt bygningsform med lille overfladeareal (minimering af varme- og kølebehov).
- Stor tæthed (isolering mv.) af klimaskærmen (både af hensyn til varme- og kølebehov).
- Højisolerede vinduer: Samlet U-værdi bør ligge under eller på $U=1,0$. (Det er muligt at få vinduer på $U=0,6$ eller $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$), men pas på udvendig kondens.
- Kontorbyggeri bør generelt bygges smalt (dvs. ikke for dybe rum) og med godt dagslysindfald for at begrænse elforbrug til belysning. Det forbedrer også muligheden for at anvende naturlig eller hybrid ventilation.
- Bygningsplacering og bygningsdisponering, herunder vinduesarealer, med fornuftig udnyttelse af passiv solvarme og dagslys, uden risiko for overopledning og kølingsbehov. Orientering af hovedopholdsrum i boliger mod syd/sydvest for at opnå maksimal solopvarmning i "fyringssæsonen" og orientering af kontorrum mod nord for at udnytte dagslys og begrænse direkte solindfald (og syd, hvis der er god solafskærmning).
- En tæt bygning er også vigtig af hensyn til arealer med mekanisk ventilation. Derved er der ikke et "ukontrollerbart" luftskifte, som både giver anledning til øget energitab og mindsket komfort i form af træk mv.
- Bygningskonstruktion med termisk masse til passiv akkumulering af varme og køling. Eventuelt kan der anvendes PCM-materialer til at øge denne effekt.
- Naturlig/hybrid ventilation i kombination med brandventilation.
- Hvor mekanisk ventilation er et krav, skal denne udføres som balanceret energioptimeret mekanisk ventilation med højeffektiv varmegenvinding (effektivitet $>85 \%$) og lavt strømforbrug samt let rengørings- og vedligeholdelsesadgang. Vigtigt at der bliver foretaget rengøring og jævnlige eftersyn efter forskrifterne.

- Mekanisk ventilation virker kun optimalt, hvis anlægget vedligeholdes og rengøres efter forskrifterne.
- Minimering af energitab i forbindelse med rør (bygningen disponeres, så installationer samles / rørisolering optimeres / konstant cirkulation undgås).
- LED-belysning med dagslysstyring.
- Tilpasset solafskærmning, der afskærmer for den højtstående sol om sommeren, men udnytter indfaldet fra den lave vintersol og fra morgen- og aftensol.

9.1.2 Effektiv energiforsyning - hovedvægt på bygningsinstallationer

Ved dette trin handler det om at sikre bygningens energiforsyning på den mest effektive og hensigtsmæssige måde. Der er tale om aktive tiltag i form af bygningsinstallationer.

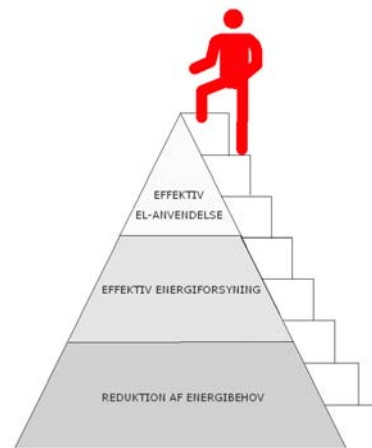


- Gennemtænk zoneopdeling af bygningen, så der bliver samspil mellem ventilation og varmesystem. Installationerne skal være forberedt på, at bygningslokalerne anvendes anderledes end planlagt, da det kan give store udfordringer for driften, hvis bygningens brugere ikke sidder placeret de steder i kontorlokalerne, hvortil det er projekteret.
- Tag udgangspunkt i dagslyset som den primære lyskilde. Herudover effektiv kunstig belysning med behovsstyring (primært bevægelsesmelderstyring og dagsstyring udført i så lav en effekt som mulig under hensynstagen til lyskvalitet og formål).
- Vælg ensartede systemer. Af hensyn til driften af en eller flere bygninger er det en fordel, hvis der vælges de samme automatikløsninger. F.eks. kan der være valgt forskellige systemer til solafskærmning, hvilket kan være et problem, fordi de skal styres forskelligt.
- Udnyt effektiv energiforsyning, f.eks. fjernvarme.
- Udnyt overskudsvarme (passiv solvarme, serverrum mv.).

- Vedvarende energi f.eks. solceller. Solceller er dog ikke rentable med dagens energipriser - medmindre de erstatter en anden dyr klimaskærm. Solcelleudviklingen peger i retning af nye billigere typer.
- Zoneopdeling af gulvvarme, så kun zonen ved ydervæggen opvarmes i "mellemprioriteterne".

9.1.3 Effektiv el-anvendelse - hovedvægt på komponenter (automatik)

Det sidste trin indbefatter valg af de rigtige automationskomponenter, således at egetforbruget af el minimeres.



- Anvend intelligente bygningsinstallationer (automatisk sluk, bevægelses-sensorer, afbrydeligt forbrug, frekvensomformer m.v.).
- Anvend luxfølere.
- Minimer elforbrug ved primær belysning af fællesarealer.
- God praksis for målerstruktur. Vigtigt med et tilstrækkeligt antal målere, og at der er valgt målere, som gør det nemt at aflæse energiforbrug og driftsdata.
- Opsæt synlige energi- og vandmålere.
- Anvend energimålere på forskellige typer forbrug. Opdel elsystemer/ installationer på forskellige eltavlegrupper, således at f.eks. diverse elforbrug til kaffemaskiner og lignende ikke måles sammen med den faste belysning. Generelt kan det være hensigtsmæssigt med separat måling på:
 - Fast belysning
 - Ventilation
 - Køling
 - Pumper

- Blandesløjfer
 - Teknikrum
 - Serverrum.
-
- Giv løbende information til bygningsbrugerne om energiforbruget og miljørigtig adfærd. Eventuelt forbrugs-display, der tydeligt viser aktuelt og samlet forbrug af vand, varme og el.
 - Anvend af energirigtige apparater.
 - Minimér af standby forbrug.
 - Brug af ventiler uden elforbrug.
 - Overvej "Ø-løsninger" til udendørsbelysning, baseret på solceller, eventuelt LED-lyskilder. Med "Ø-løsninger" henvises til selvstændige installationer, som er selvforsynende og ikke tilsluttes elforsyningen.
 - Overvej lavvolts jævnstrømssystemer (udvikling pågår).
 - Overvej effektregulerende frekvensomformere.
 - Overvej automatisk kobling mellem termostatregulering og regulering af vinduers skodder, persiener eller anden solafskærmning.
 - Brug intelligente el-målere som grundlag for styring uden om spidsbelastning og dyre el- og varmepriser (under udvikling). Øget samspil mellem bygningsintegreret energiproduktion og energiproduktion i el- og fjernvarmenet.
 - Etabler mulighed for at slukke for elforbrugende radiatortermostater og lignende i perioder, hvor det pågældende system ikke er i drift.
 - Fokuser på brugeradfærd.
 - Sørg for individuelle styringsmuligheder af indeklimaet: Vigtigt, at bygningsbrugere har mulighed for individuelt at kunne regulere lidt på rumtemperatur, solafskærmning mv. Det er der en psykologisk effekt i. Det behøver ikke være store reguleringsintervaller. F.eks. kan det være tilstrækkeligt med +/- 1,5°C i stedet for +/- 3°C.
 - Etabler individuelle styringsmuligheder for solafskærmning. Det kan ligeledes være hensigtsmæssigt, at den enkelte person har en reguleringsmulighed for solafskærmningen, hvis man ønsker at kunne kigge ud eller bliver blændet af direkte lys eller refleksion fra en nabobygning.
 - Indfør superbrugerordning til at håndtere indstillinger med hensyn til inde-temperatur, solafskærmning, belysningsstyrke mv. over web eller lignende.

9.2 Optimeret styring og styringsstrategi

I dette afsnit er der listet en række anbefalinger vedrørende styring af en kontorbygningens energisystem, indeklima mv. Anbefalinger er bl.a. baseret på konklusioner fra de udførte BSim-analyser.

- Den valgte styringsstrategi er afgørende i forhold til et optimalt indeklima og det samlede energiforbrug. Dette gælder både for en ALFA- og en BETA-bygning.
- Styring af en bygning skal overvejes allerede i den indledende fase af projekteringen, hvis der skal opnås et energieffektivt byggeri.
- I opvarmningssæsonen er det vigtigt at minimere luftskiftet. Der skal dog tages hensyn til den atmosfæriske komfort.
- For en BETA-bygning med mekanisk ventilation kan det gøres ved VAV-styring, dvs. variabel luftmængde. For en ALFA-bygning med naturlig ventilation kan det ske med et åbne/lukke-program for indtagsåbningerne, hvor frisk luft tilføres et givet antal minutter uden at give større trækgener. Frekvensen af åbninger kan reduceres ved en lavere forventningsklasse, og hvis der haves et atrium i midten af bygningen, som kan give en buffereffekt, hvis kontormiljøerne er åbent forbundet hertil.
- Naturlig ventilation bør styres i kombination af både den operative temperatur og CO₂-koncentrationen i indeluften for at opnå både termisk og atmosfærisk komfort. I tilfælde af for lavt drivtryk i bygningen kan der suppleres med et hybridsystem bestående af hjælpeventilatorer i atriets top, der ligeledes styres efter en kombination af den operative temperatur samt CO₂-koncentrationen i indeluften.
- I sommerperioden er kølebehovet normalt større end varmebehovet. Det kan derfor være en fordel at fremme ventilationen i bygningen af hensyn til at kunne afkøle den tilstrækkeligt med lavest muligt energiforbrug.
- For både ALFA- og BETA-bygninger kan kølebehovet reduceres ved at anvende natkøling, hvormed bygningen køles uden for brugstiden. For en ALFA-bygning vil det være stort set omkostningsfrit, da der ikke anvendes mekanisk ventilation modsat BETA-bygningen.
- Øget bygningsmasse betyder, at en større mængde energi kan oplagres for at minimere den operative temperaturs udsving. Det kræver dog et vist tidsrum, hvor der ingen belastning er i bygningen. Udnyttelse af akkumulering giver lavere spidslastforbrug og sparer på energi til både opvarmning og køling.
- Solafskærmningen skal kunne tilpasses til, om der er køle- og varmebehov. I sommerperioden skal solindstrålingen minimeres, og her bør åbningsgraden af solafskærmning styres efter den operative temperatur. I vinterperioden bør graden af solafskærmning i stedet tilpasses til at kunne give et stør-

re varmetilskud. For både sommer og vinter gælder dog, at det skal være muligt manuelt at styre solafskærmningen, så gener fra blænding og refleksion kan undgås.

- Brug dagslysstyret lysregulering. Det kan reducere elforbruget til den almene belysning betydeligt. BSim-simuleringerne for KE's bygning antyder omkring 40 % besparelse.

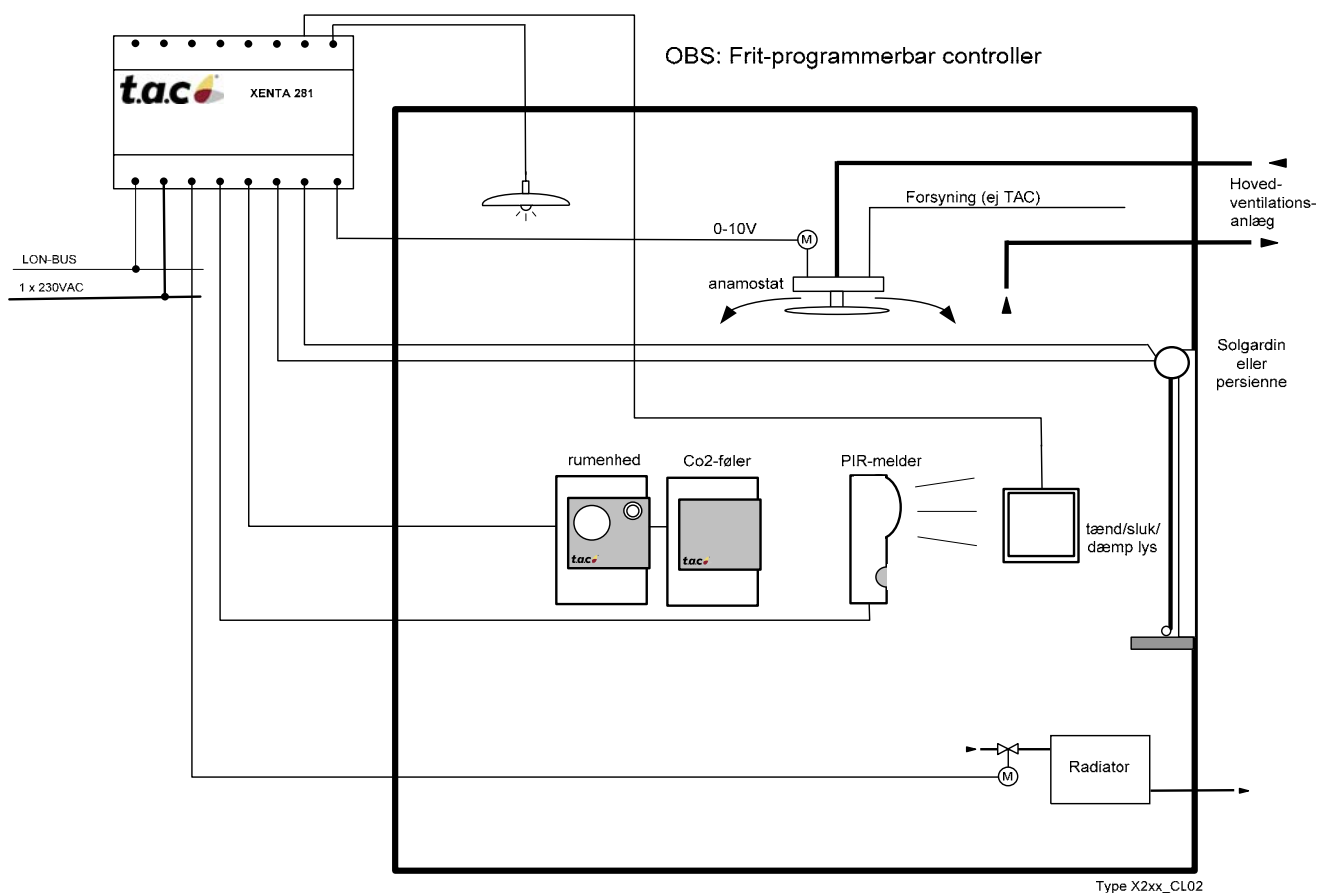
9.3 God praksis for Intelligente Bygnings Installationer (IBI)

Automatisk styring er blevet den måske vigtigste komponent i det, der i dag kendetegner det intelligente hus. Kombinationen med IT giver rigtig mange muligheder. Til dette afsnit er der indsamlet anbefalinger og data som grundlag for at undersøge og beskrive god praksis for IBI-systemer.

For at få en større kontorbygning til at fungere optimalt både med hensyn til indeklima og energi skal denne inddeles i et antal hensigtsmæssige klimazoner. Disse zoner er ofte inddelt efter facadeorientering, men derudover er det interessant, hvor store disse zoner skal være både arealmæssigt og i forhold til antal komponenter.

TAC anviser en maksimal zonestørrelse på ca. 100 m², men henviser til, at det vigtigste er at definere en zone ud fra det antal komponenter, dvs. den største bestykning, der er fornuftig for en IBI-zone. Kommer der for mange komponenter i én zone, der alle skal kobles til samme system, kan det blive for uoverskueligt for brugeren og programmøren. Dermed bliver det for dyrt at installere, og tilbagebetalingstiden for lang.

Figur 40 viser den maksimale zonestørrelse med hensyn til bestykning, som TAC anbefaler. Denne klimazone indeholder radiator(er), solpersiennestyling og temperatur/luftkvalitetsstyret motordiffusor(er) samt lysstyring (enten on/off- eller dagslysstyret). Der er komfortstyring af køl/friskluft ved hjælp af anemostat og komfortstyring af varme ved hjælp af termoaktuator for radiator. Solpersienser/-gardiner styres via f.eks. solintensitetsføler. I systemet er der mulighed for indstilling af fast setpunkt for varme (f.eks. 22°C). Dette setpunkt kan - via rumenhed - forskydes af bruger (+/- 5°C). Da controlleren er frit programmerbar og bl.a. indeholder egen ur-styring, er der talrige muligheder for virkemåden, bl.a. mulighed for funktionssammenhæng med hovedanlæg i forbindelse med atmosfærisk natkøl og lignende, og mulighed for etablering af op/ned tryk for åbning og lukning af solpersienser.



Figur 40 TAC's anbefaling til en maksimal komponent-bestykning i én klimazone.

Hvor der kan fås udstyr til 230V AC, bør det vælges frem for 24V AC/DC-systemer, idet der opnås elbesparelse på grund af færre transformere.

TAC vurderer i øvrigt, at en del af fremtidens automatikløsninger vil være baseret på trådløse teknologier f.eks. til styring af belysning mv. Det skyldes, at der vil være en række fordele herved. F.eks. vil det være lettere at opsætte og forbinde. Rækkevidden for sådanne teknologier kan være ca. 30 m ved betonkonstruktioner og ca. 100 m ved lette vægge. Her bør egetforbrug overvejes, ligesom det bør overvejes, hvor tit der er behov for at transmittere data.

På baggrund af de skitserede komponenter for "maks.-zonen" (maksimal komponent-bestykning i én klimazone) er der lavet et overslag på det typiske elforbrug.

Tabel 14 Overslagsberegning af elforbrug i en typisk maks. zone.

Energiforbrug pr. zone	40 m ² 4-5 personer		Hvilestilling (standby)		Energiforbrug pr komponent kWh/år	Antal	Energiforbrug pr zone kWh/år
	Drift		W	timer/år			
Komponent	W	timer/år	W	timer/år		-	
Zone controller (IBI box)	5	8760	0	0	44	1	44
Ventilationsspjæld	1,5	30	0,4	8730	4	4	14
Solafskærmning (persienne)	40	6	2	8754	18	5	89
Radiatorventil	2	8760		0	18	5	88
Bevægelsessensor (PIR)	0,79	8760		0	7	1	7
Lyssensor	0,12	8760	0	0	1	1	1
CO2 føler	1	8760	0	0	9	1	9
Temperaturføler	0	8760	0	0	0	1	0
Individuel regulering lys (tænd/sluk)				8760	0		0
Individuel regulering solafskærmning (op/ned)				8760	0		0
Individuel regulering temperatur (op/ned)				8760	0		0
Belysningsarmatur				8760	0		0
TOTAL						kWh/år	251
						kWh/m ² /år	6,3

Det ses, at elforbruget til bygningsautomation kan løbe op i 6 kWh/m²/år, hvilket svarer til ca. 16 kWh/m²/år i primærenergi. I Appendix 9 ses de udvalgte komponenter, som overslagsberegningen er baseret på.

9.4 Stort besparelspotentiale i elforbrug til it-serverum og køling/ventilation mv.

It-servere er ikke bygningsautomation, men kan have væsentlig indflydelse på energiforbrug og kan kræve ekstra bygningsinstallationer og -automation.

Kontorbygninger som Københavns Energis bygning, der har et større antal servere til it-systemer har et stort potentiale for elbesparelser, idet elforbruget til servere (inklusive køling herfor) udgør hele 19 % af bygningens samlede elforbrug. Serverne kræver både strøm til at holde sig i gang samt strøm til køling for at holde den omgivende temperatur nede. Potentialet ligger både i at udskifte gamle servere til nye mere energieffektive, ved at udnytte servernes kapacitet bedre og ved at indrette serverrummet således, at kølebehovet mindskes. Herudover bør man overveje, hvad der kan lukes ned uden for almindelig arbejdstid samt muligheder for at udnytte overskudsvarme.

Ifølge Elsparefondens analyser kan der være op til 50 % elbesparelser ved at optimere datacentre/it-serverrum.

Endvidere vurderer Dansk Energi, at der er et stort potentiale for virksomheder og offentlige institutioner for at kunne reducere elforbruget uden for almindelig arbejdstid. Potentialet lyder på 10-20 % og svarer til en reduktion i elregningen på 0,5-1 mia. kr. på landsplan. Forbruget, der kan spares væk, stammer fra ventilation, serverrum, køling, it og kontorstyr, belysning, motorer og pumper samt diverse apparater (kaffeautomater, køleskabe, automatiske persienner mv.). Man kan sige, at der er tale om et usynligt elforbrug, der bør kunne reduceres markant.

Som eksempel på noget, der er udført, kan nævnes, at COWIs it-afdeling for nylig har samlet 52 gamle servere på 5 nye "virtuelle" servere, der kun bruger en tiendedel så meget strøm. Besparelsen svarer til 188 tons CO₂ pr. år. Projektet er udført i samarbejde med hardware-leverandøren Hewlett-Packard. Økonomien i et sådant besparellesprojekt er god. Investeringen i det pågældende projekt var 1 million kroner, men allerede det første år faldt regningen til el, afskrivninger og vedligeholdelse med over 700.000 kr. Interessant er, at der spares mindst lige så meget strøm til køling som til at holde serverne i drift.

Herunder er opstillet en række tiltag, der kan skabe grundlag for stort elbesparellespotentiale for serverrum og i sidste ende køling/ventilation:

- Udskift løbende de gamle rack-servere med blade-servere, som er langt mere energieffektive. Typisk vil servernes energiforbrug kunne reduceres med op til 30 pct., når udskiftningen til blades er gennemført.
- Udnyt servernes kapacitet bedre. På de fleste servere udnyttes mindre end en tredjedel af kapaciteten, og derfor står der langt flere energikrævende servere i datacentre end nødvendigt. Med konsolidering og virtualisering kan udnyttelsesgraden øges væsentligt, og antallet af servere nedbringes tilsvarende.
- Indret serverrummet, så kølingsbehovet mindskes. Tilsyneladende banale detaljer som at placere serverne, så de køles mest effektivt, og mulighed for at lukke lågen på serverracks, så varmen ikke slipper ud i lokalet, har stor betydning for kølingsbehovet og dermed energiforbruget.
- Udpeg en energimedarbejder.
- Vær opmærksom på elforbruget efter arbejdstid ophør.
- Få styr på forbruget. Få foretaget en energigennemgang.
- Lav en handlingsplan for energibesparende foranstaltninger.
- Gennemfør handlingsplanen.
- Lave rutinemæssige opfølgning på forbruget.
- Brug intelligent styring af elforbruget.
- Brug timere og korrekte setpunktsindstillinger til at styre og slukke forbruget.
- Efterspørg de mest energieffektive teknologier og apparater ved indkøb og projektering.
- Lav en energi og miljørigtig indkøbspolitik.
- Indarbejd energibesparelser i drift og vedligehold.

10 Formidling

Projektgruppen har med denne rapport søgt at formidle de gode eksempler og erfaringer. Projektet kan i en efterfølgende Fase 2 gøre en særlig indsats for at formidle viden om energirigtig bygningsautomation især i forhold til bygherrer, bygningsforvaltere, investorer og de projekterende, herunder kan især emner som de energi-/miljømæssige og økonomiske potentialer samt funktionalitet og ydeevne blive præsenteret.

Resultaterne vil så vidt muligt blive anvendt videre i bl.a. i EU aktivitet og CEN samarbejde.

11 Demonstration (fase 2) - forslag til videre arbejde

En forsættelse af dette projekt (Fase 1) i et demonstrationsprojekt vil kunne afprøve teorierne og de fundne resultater i praksis. Demonstrationsprojektet (Fase 2) vil kunne dokumentere optimale automationsløsninger. Det er muligt at se på et større antal bygninger, såvel nye bygninger og i forbindelse med renovering, hvor der ombygges til en mere fleksibel driftsstrategi i henhold til de ønskede klimaklasser og årstiden. I en Fase 2 vil det være oplagt at behandle konkrete kWh-besparelser, anlægs- og driftsøkonomi inklusive livscyklusomkostninger.

Produktet af Fase 2 vil være en slutrapport, der indeholder starten på en slags "Best Practice" på området, der vil kunne danne reference/skole for kommende byggerier. Derudover kunne der udarbejdes en informationspjece om projektet til distribution i byggebranchen, der forventes hurtigt at tage resultaterne til sig og indarbejde de nyudviklede løsninger og retningslinjer for energirigtig bygningsautomation i deres daglige virke.

Den faglige formidling i Fase 2 forventes bl.a. at kunne ske gennem seminar for energirådgivere og via artikler i byggebranchens danske/internationale fagblade. Resultaterne vil også kunne blive præsenteret med conferenceindlæg samt i internationale tidsskrifter. Projektets resultater vil endvidere kunne indgå direkte i undervisningen på Aalborg Universitet og DTU og danne grundlag for igangsættelse af Ph.D.-studier på området.

Projektdeltagerne ønsker generelt at bygge bro mellem F&U miljøet byggebranchen, for at de bedste/nye innovative løsninger når ud i byggeriet og energiforsyningen, så den danske byggebranche også fremover vil være på forkant - også internationalt - med energieffektive løsninger, uden at der gås på kompromis med økonomi, indeklima eller den gode arkitektur. Her spiller rådgiverne og de projekterendes kendskab til god praksis en meget væsentlig rolle bl.a. i forbindelse med lavenergibyggeri med nye energikoncepter og design af intelligente bygningsinstallationer med SCADA- og IBI-anlæg.

Da de i projektet udviklede metoder og løsninger imødekommer Bygningsdirektivets intentioner og kan anvendes i byggeriet uanset geografi og både i moderne nybyggeri og ved renovering af den eksisterende bygningsmasse, kan projektet medvirke til at udløse et stort eksportpotentiale for dansk erhvervsliv.

Fase 2 forventes udført af projektgruppen i 2010-2013.

12 Referencer

- [1] DS 474, Norm for specifikation af termisk indeklima
- [2] Bygningsreglementet BR08
- [3] EN15251: Indoor Environmental Criteria for Design and Calculation of Energy Performance of Buildings
- [4] CR 1752 (1998). "Ventilation for buildings - Design criteria for the indoor environment", CEN report, Brussels, Belgium.
- [5] EN ISO 7730 (1995). "Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort", CEN, Brussels, Belgium.
- [6] Dan-Ejendomme, energiforbrugsdata
- [7] Københavns Energi, energiforbrugsdata
- [8] TAC, bygningsautomationsdata
- [9] By og Byg Anvisning 202, Naturlig ventilation i erhvervsbygninger
- [10] Adaptive temperature limits: A new guideline in the Netherlands. a new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate. *Energy and Buildings*, 38:8-17. Van der Linden, A. C., Boerstra, A. C., Raue, A. K., Kurvers, S. R. og de Dear, R. J. (2006).
- [11] Energihåndbogen– råd og vejledninger, Foreningen For Energi & Miljø, 2002
- [12] The Cost-Effectiveness of Commercial-Buildings Commissioning, E. Mills, 2004
- [13] Control of Temperature for Health and Productivity in Offices, O. Sepanen, W.J. Fisk & D. Faulkner, 2004