

SBi 2011:16

# Energioptimering af kontorbyggeri



Statens Byggeforskningsinstitut  
AALBORG UNIVERSITET



# Energioptimering af kontorbyggeri

Kim B. Wittchen  
Ernst Jan de Place Hansen  
Niels Radisch  
Jørn Tredal

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Titel                   | Energioptimering af kontorbyggeri  |
| Serietitel              | SBI 2011:16  |
| Udgave                  | 1. udgave  |
| Udgivelsesår            | 2011   |
| Forfattere              | Kim B. Wittchen, Ernst Jan de Place Hansen, Niels Henrik Radisch (Rambøll A/S) og Jørn Treldeal (Rambøll A/S).   |
| Sprog                   | Dansk  |
| Sidetæl                 | 130  |
| Litteratur-henvisninger | Side 75  |
| Emneord                 | Energioptimering, kontorbyggeri,   |
| ISBN                    | 978-87-563-1523-4  |
| Fotos                   | Kim B. Wittchen  |
| Omslag                  | Foto: Kim Wittchen   |
| Udgiver                 | Statens Byggeforskningsinstitut,<br>Dr. Neergaards Vej 15, DK-2970 Hørsholm<br>E-post <a href="mailto:sbi@sbi.dk">sbi@sbi.dk</a><br><a href="http://www.sbi.dk">www.sbi.dk</a> |

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.

# Indhold

|  |     |
|--|-----|
| Forord .....   | 4   |
| Indledning .....   | 5   |
| Sammenfatning og konklusion .....                                  | 8   |
| Simulering af energiforbruget .....                                | 8   |
| Beregninger af samlet elforbrug .....                              | 10  |
| Demonstrationsbyggeriet i Århus.....                               | 10  |
| Økonomi.....   | 13  |
| Fleksibilitet .....  | 14  |
| Beregninger og simuleringer.....                                   | 15  |
| Aflevering/ibrugtagning .....                                      | 15  |
| Drift .....  | 15  |
| Optimering af koncept .....  | 16  |
| Bygningsudformninger .....   | 16  |
| Opbygning af bygningsmodeller .....                                | 19  |
| Resultater af simuleringer .....                                   | 26  |
| Beregning af samlet el-forbrug for kontorbyggeri .....             | 35  |
| Elforbrug i nyere energieffektivt byggeri .....                    | 36  |
| Beskrivelse af demonstrationsbyggeri .....                         | 36  |
| Bygningsbeskrivelse .....  | 38  |
| Fleksibilitet .....  | 41  |
| Analyse af demonstrationsbyggeri .....                             | 42  |
| Opbygning af bygningsmodel for kontorområder .....                 | 42  |
| Udførte analyser – oversigt.....                                   | 44  |
| Resultater af simuleringer .....                                   | 45  |
| Diskussion, simuleringer .....                                     | 46  |
| Konklusioner, simuleringer .....                                   | 47  |
| Forslag til yderligere analyser .....                              | 48  |
| Vurdering af energiforbrug uden for kontorområder .....            | 49  |
| Målinger i demonstrationsbyggeri .....                             | 50  |
| Forbrugsmålinger.....  | 50  |
| Temperaturmålinger .....   | 59  |
| Dagslys .....  | 63  |
| Spørgeskemaundersøgelse.....                                       | 63  |
| Generalisering af resultater .....                                 | 69  |
| Økonomi.....   | 69  |
| Fleksibelt elforbrug .....   | 70  |
| Fleksibilitet i bygningen.....                                     | 71  |
| Varme- og vandinstallationer kan opdeles i større områder. ....    | 72  |
| Beregninger og simuleringer, generelt .....                        | 73  |
| Ibrugtagning og drift.....   | 73  |
| Litteratur .....   | 75  |
| Bilag 1 Prototype, resultater .....                                | 77  |
| Bilag 2 Prototype, dagslysfaktorer.....                            | 83  |
| Bilag 3 Demonstrationsbyggeri, udførte simuleringer med BSim ..... | 84  |
| Bilag 4 Demonstrationsbyggeri, resultater .....                    | 85  |
| Bilag 5 Spørgeskema .....  | 87  |
| Bilag 6 Svar fra spørgeskemaundersøgelse .....                     | 94  |
| Bilag 7 Målinger i demonstrationsbygning .....                     | 115 |
| Bilag 8 Måling af temperaturer .....                               | 125 |

# Forord

Denne rapport giver resultaterne fra en lang række analyser af forskellige muligheder for energioptimering af kontorbyggeri. Der er i analyserne lagt særligt vægt på en reduktion af energiforbruget til køling (reduktion af interne belastninger og alternativer til egentlig mekanisk køling) af bygningerne i sommersituationen for at nedbringe elforbruget, men også energiforbruget til opvarmning er medtaget i analyserne.

Optimeringen af kontorbygninger er gennemført på konceptniveau, hvor to markant forskellige geometriske udformninger af en kontorbygning er undersøgt teoretisk. Det drejer sig dels om en punktformet bygning og dels om en stangformet bygning. For begge bygningstypers vedkommende er bygningerne desuden analyseret for forskellige orienteringer af bygningerne. Ud over bygningernes geometri er der gennemført analyser af en lang række tiltag for at nedbringe energiforbruget. Det drejer sig bl.a. om solafskærmning, ventilation, mekanisk køling, bygningens termiske masse, styring af belysningen og udstyr.

Desuden er der gennemført en vurdering af et konkret demonstrationsbyggeri i Århus, hvor nogle af koncepterne er søgt udnyttet.

Ud fra de teoretiske analyser og demonstrationsbyggeriet er resultaterne søgt generaliseret dels i nærværende rapport og dels i en letlæst pjece (Det fleksible, energieffektive kontorhus, 2004) udgivet af Elforsk.

Projektet er gennemført i perioden fra 2004 til 2010 af Rambøll A/S, Statens Byggeforskningsinstitut og Århus Kommune samt støttet med midler fra PSO Elfor (projekt nr. 335-011).

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet  
Energi og miljø  
Maj 2011

*Søren Aggerholm*  
Forskningschef

# Indledning

Projektets formål har været at udvikle, afprøve, etablere og formidle et åbent helhedskoncept til fleksible og energieffektive kontorhuse med lavt el-forbrug svarende til 50-60 % af dagens standardforbrug og med høj komfort. Dette opnås ved at optimere anvendelsen af fx dagslys, el-effektive ventilationsanlæg og konstruktiv køling i fleksible, robuste løsninger, der kan tilpasses det aktuelle behov og den varierede anvendelse af bygningen. Konceptet fokuserer også på at opnå en udjævning af effektspidserne, primært ved reduktion af elforbruget til køling og belysning i dagtimerne, mod eventuelt et lidt større forbrug i nattetimerne i sommerhalvåret, til at trække overskudsvarmen ud af bygningen i el-systemets lavlastperiode. Konceptet kan bruges som domicil for ét firma eller som fælles bygning for flere firmaer, der kan bo som selvstændige enheder i samme kontorhus via den indbyggede fleksibilitet med hensyn til organisering, ruminddeling, klimatisering og arealanvendelse.

## *Fem projektfaser*

Projektet er inddelt i fem faser:

- 1 Prototype, udvikling af konceptet
- 2 Tilpasning af konceptet til Århus Kommunes nye administrationsbygning
- 3 Måling og evaluering i bygningen
- 4 Generalisering af konceptet
- 5 Formidling

**Fase 1** er primært gennemført som et overordnet parameterstudie med simuleringsprogrammet BSim for at opnå en optimal kombination af forskellige bygningsudformninger og energiteknikker i relation til varmebelastningerne, indeklimaet og brugernes funktionskrav til byggeriet. Ved planlægningen af parameterstudiet er der taget hensyn til de arkitektoniske og økonomiske aspekter, således at der er tale om umiddelbart tilgængelige løsninger. I fase 1 er der foretaget en vurdering af de mulige varme- og elbesparelser ved indførelse af konceptet. Som et afsluttende element heri er der beskrevet et referenceniveau for energiforbruget og indeklimaet i henholdsvis typiske og særligt energieffektivt kontorbyggeri baseret på eksisterende erfaringer og registrerede data fra nyere kontorbyggerier.

**Fase 2** er gennemført parallelt med den sædvanlige projektering af Århus Kommunes administrationsbygning på Grøndalsvej-Skanderborgvej. Projektets eksperter har fungeret som sparringspartner for bygherren og gennemført diverse analyser og beregninger til belysning af effekten af yderligere, energibesparende tiltag i bygningen. I bygningen var det allerede fra starten et mål at optimere energiforbruget under hensyntagen til indeklimaet. Ligesom det var et ønske at få etableret et finmasket net af bimålere på især elforbruget.

**Fase 3** indeholdt et måle- og evalueringsprogram, startende efter administrationsbygningen var opført og indkørt. Måleprogrammet har omfattet indsamling af relevante energi- og indeklimadata med CTS-anlægget, gennemførelse af spørgeskemaundersøgelse om brugeropfattelse af indeklimaet og bygningens brug samt undersøgelser med særligt henblik på afklaring af anlæggenes funktion. Det overordnede formål med evalueringen har været at uddrage de generelle erfaringer og resultater om konceptets funktion.

**Fase 4** blev gennemført efter fase 1 og med bidrag fra fase 2 og resulterede i en generalisering af de analyserede koncepter. Simuleringerne er anvendt til at illustrere, hvordan ændringer af bygningen og installationerne på-

virker energiforbrug og indeklima. For at lette overblikket er el- og varmforslag lagt sammen i et tal – primærenergi. Indeklimaet er vurderet ud fra andelen af timer inden for brugstiden hvor indetemperaturen ligger inden for et komfortområde, her defineret som værende mellem 21,5 og 24,5 °C.

**Fase 5** omfattede formidling til beslutningstagerne i byggebranchen. Formidlingen er især sket med udgangspunkt i en letlæst pjeces (Det fleksible, energieffektive kontorhus, 2004), der beskriver konceptet, dvs. på hvilke måder man kan nedbringe energiforbruget, og hvor meget de enkelte tiltag bidrager.

Projektet var oprindeligt planlagt i 2 hovedfaser. I første fase skulle der gennemføres en teoretisk optimering af forskellige løsninger til energioptimering af kontorbyggeri under hensyntagen til indeklima, og muligheden for at modulopdele bygningen så den kunne ændre anvendelse over tid. I anden fase skulle der opføres et kontorbyggeri, hvor principperne som var udviklet i fase 1 blev udnyttet. SAS var oprindeligt udset som vært for demonstrationsbyggeriet, men udviklingen inden for luftfarten resulterede i, at planerne for et nyt kontorhus i København blev stillet i bero. Århus kommune blev derfor valgt som ny anlægsvært for demonstrationsbyggeriet ved et kontorbyggeri, som dels skulle rumme Skat og dels en del af socialforvaltningen.

Imidlertid var processen med projektering af byggeriet så fremskreden, at det ikke var muligt at gennemføre de teoretiske analyser inden byggeriet var færdigprojekteret. Det blev derfor besluttet at gennemføre en række analyser på det konkrete byggeri og lade projektets parter optræde som sarringspartnere for de projekterende. På denne måde blev en del af de tanker og ideer, som lå bag ved projektet, implementeret i byggeriet i Århus.

I forbindelse med projekteringen har de projekterende benyttet BSim (Wittchen, Johnsen & Grau, 2000-2010) til at vurdere indeklimaforholdene i bygningen. De modeller som de projekterende benyttede i forbindelse med projekteringen af byggeriet blev velvilligt stillet til rådighed for projektet. Det blev herved muligt at foretage detaljerede simuleringer og parametervariationer for det endelige koncept og foreslå ændringer til byggeriet.

Resultaterne fra simuleringer af bygningen i dens endelige udformning er ikke blevet sammenlignet med de målinger som senere er gennemført i bygningen. Det skyldes, at der alene er opbygget BSim modeller til simulering af udvalgte rum (de forventeligt mest rum udsatte for høje indetemperaturer om sommeren).

Fase 2, projektering på baggrund af teoretiske analyser, blev således gennemført før de teoretiske analyser. Det gav på den anden side en bedre mulighed for generalisering af resultaterne.

De teoretiske analyser af mulighederne for optimering af kontorbygninger med hensyn til energiforbrug til opvarmning og til køling blev gennemført med BSim programmet (Wittchen et al., 2000-2010). Programmet er udviklet til at gennemføre avancerede simuleringer af bygningers energi- og indeklimaforhold samt at simulere forskellige styringer og reguleringer af bygningernes energisystemer.

I løbet af projektet blev energikravene til nye bygninger strammet i Bygningsreglementet og isoleringsniveauet i de oprindelige modeller blev derfor forøget så det levede op til de skærpede krav. For at vurdere bygningernes følsomhed blev der ligeledes gennemført analyser med forskellige niveauer af interne belastninger for belysning og kontorudstyr. Dette sikrer, at resultaterne også vil være gyldige for fremtidige kontorbygninger, opført i henhold til kommende strammede energiregler.

Efter opførelse af bygningen er der gennemført en række fysiske målinger i bygningen for at verificere, at indeklimaforholdene er som projekteret. Desuden er der gennemført en spørgeskemaundersøgelse af personalets tilfredshed med indeklimaet i bygningen. Der er endvidere foretaget analyser af energiforbruget.



### *Modelberegninger*

For at begrænse omfanget af simuleringer er der defineret 2 typiske bygningsudformninger:

- Punktformet bygning
- Stangformet bygning med cellekontorer hhv. storrumskontorer

I alle varianter er der opbygget en referencebygning som benyttes til vurdering af energiforbrug og termisk indeklima i forbindelse med den enkelte løsning.

For at kunne vurdere effekten af de forskellige variationer er der defineret et komfortinterval for indetemperaturer mellem 21,5 og 24,5 °C. Antallet af timer i procent i brugstiden, inden for dette interval giver et mål for kvaliteten af indeklimaet.

Energiforbruget er omregnet til primærenergi (elfaktor = 2,5), således at der kun angives et tal i resultatoversigterne.

Der er udvalgt ni parametre, hvis betydning for energi og indeklima er undersøgt. I alt er der gennemført mere end 150 simuleringer.

Rapportens første kapitel ser både på simulerede, beregnede og registrerede energiforbrug i kontorbyggeri generelt. I simuleringsdelen indgår endvidere vurderinger af indeklimaet.

I rapportens afsnit Demonstrationsbyggeriet i Århus gennemgås simuleringer, målinger m.m. i Århus Kommunes kontorbygning på Grøndalsvej-Skanderborgvej i den sydlige del af byen.

# Sammenfatning og konklusion

## Simulering af energiforbruget

Simuleringer af energibehovet i kontorområderne viser, at det er muligt, at opnå en halvering af energiforbruget samtidig med, at indeklimaet forbedres.

Simuleringerne er gennemført for to forskellige bygningsudformninger, nemlig en stang-formet bygningskrop og en punkt-formet bygningskrop. Modellerne er opbygget så det er muligt at få plads til det samme antal personer, og dermed interne belastninger i hvert af de bygningsudsnit, der er regnet på. Der henvises i øvrigt til Bilag 1 'Prototype, resultater' for en oversigt over de gennemførte simuleringer.

Beregninger af det samlede elforbrug i en kontorbygning viser, at det er muligt næsten at halvere forbruget pr. m<sup>2</sup> for bygninger opført fra 1990'erne (BR95) og frem til bygninger opført i henhold til Bygningsreglement 2010 (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010). Registreringer af elforbruget fra nyere kontorbyggeri viser en meget stor spredning. Det fremgår bl.a., at de laveste forbrug kun udgør halvdelen af et typisk forbrug, selvom anvendelsen af bygningerne er sammenlignelige.

I det følgende opsummeres de vigtigste resultater for hver af de teknikker til påvirkning af energiforbrug og termisk indeklima, som er blevet teoretisk undersøgt i projektet. For en uddybning henvises til de øvrige kapitler i rapporten.

### Udformning af bygningen

I den punktformede bygning er energiforbruget 5-10 % lavere pr. m<sup>2</sup> end i den stangformede bygning, hvor udformningen med cellekontorer har det højeste energiforbrug pr m<sup>2</sup>.

Samtidig er indeklimaet dårligst (74 % timer inden for komfortintervallet) i den stangformede bygning med cellekontorer og bedst i den åbne stangformede bygning med orientering øst-vest (90 % timer inden for komfortintervallet).

### Orientering af bygningen

For den punktformede bygning har orienteringen næsten ingen betydning for energiforbruget, men der er 5 procentpoint flere timer inden for komfortintervallet med nord-syd orientering.

Den stangformede bygning har et lidt højere energiforbrug med øst-vest orientering end med syd-nord orientering. I den stangformede bygning med cellekontorer øges andelen af timer inden for komfortintervallet i det hårdest belastede kontor fra 73 % ved orientering nord-syd til 80 % ved øst-vest orientering.

### Varmeakkumulering

Tilstedeværelsen af varmeakkumulerende masse, som kan aktiveres til temperaturudjævning har en meget lille betydning på det årlige energiforbrug, hvorimod betydningen for rumtemperaturen er langt større. Antallet af timer inden for komfortintervallet varierer fra 81 % ved meget let byggeri til 92 % ved meget tungt byggeri.

### Vinduesareal

Der er en klar sammenhæng mellem vinduesareal og såvel energiforbrug som termisk komfort. Ved 15 % vinduesareal i forhold til etagearealet er

energiforbruget ca. 130 kWh/m<sup>2</sup> og 92 % af timerne i brugstiden, der ligger inden for komfortintervallet, mens der med rene glasfacader er et energiforbrug på ca. 160 kWh/m<sup>2</sup> og blot 53 % af timer, der ligger inden for komfortintervallet.

### **Solafskærmning**

Fra en situation helt uden solafskærmning til fuldt automatisk, udvendig solafskærmning ændres energiforbruget ikke, men antallet af timer inden for komfortintervallet stiger fra 85 til 89 %. Hvis der tillige benyttes solafskærmende glas, øges antallet af timer inden for komfortintervallet til 93 %, men energiforbruget stiger en smule.

Med større vinduesarealer end referencebygningen bliver forskellene mere tydelige.

Effekten af en vandret, fast solafskærmning i forbindelse med et større vinduesareal end referencetilfældets 22 % har kun i begrænset omfang indflydelse på indeklimaet, i begge tilfælde er antallet af timer med temperaturer over 26 og 27 °C langt over de anbefalede grænser.

### **Opvarmningsprincip**

Ved en sammenligning mellem radiatorer, radiatorer i samspil med gulvvarme og en ren gulvvarmeløsning er antallet af timer inden for komfortintervallet så godt som ens. Energiforbruget falder ca. 3 % ved opvarmning med gulvvarme.

### **Ventilation**

Ved at forbedre ventilationsanlægget fra dagens krav til, hvad der må forventes at blive de nye krav i 2015, kan energiforbruget i kontorerne reduceres fra ca. 135 til ca. 125 kWh/m<sup>2</sup>, i begge tilfælde ved en andel af timer inden for komfortintervallet på omkring 85 %. Med naturlig ventilation reguleret efter CO<sub>2</sub>-indholdet i indeluften reduceres energiforbruget med yderligere ca. 15 kWh/m<sup>2</sup>, og andelen af timer inden for komfortintervallet øges med ca. 5 procentpoint.

### **Mekanisk køling**

Mekanisk køling øger andelen af timer inden for komfortintervallet fra 85 til 90 % med en lille forøgelse af energiforbruget i forhold til en løsning med VAV (Variable Air Volume – luftstrømmen varierer med behovet i bygningen) regulering af ventilationen. Forøgelsen af energiforbruget er 3 % ved VAV+køling og 6 % ved CAV (Constant Air Volume – konstant luftstrøm i ventilationsanlægget) med kølebafler.

### **Belysning og udstyr**

I forhold til referencen, med manuel belysningsstyring, sker der kun en nedgang i bruttoenergibehovet på ca. 5 kWh/m<sup>2</sup> ved fuld dagslysstyring og komforten er næsten uforandret. Med tilføjelse af energieffektive pc'er og arbejdslamper reduceres energiforbruget fra ca. 130 til ca. 100 kWh/m<sup>2</sup> og andelen af timer inden for komfortintervallet øges fra 85 til 88 %.

### **Superoptimering**

Sammen med ovennævnte kombination af dagslysstyring og lavenergiudstyr inddrages også hybrid ventilation og hermed sænkes energiforbruget til ca. 70 kWh/m<sup>2</sup> og andel komforttimer stiger til 90 %.

## Beregninger af samlet elforbrug

På baggrund af erfaringer fra bl.a. projektets simuleringsdel og demonstrationsdel er der gennemført beregninger af det samlede elforbrug i en stor kontorbygning.

Beregningerne viser, at det er muligt at gå fra et elforbrug på 81 kWh/m<sup>2</sup> i 1995 over 70 kWh/m<sup>2</sup> i 2008 (ved udnyttelse af dagens mest optimale udstyr) til forventeligt 47 kWh/m<sup>2</sup> i 2015 ved anvendelse af energieffektivt udstyr og overvågning af elforbruget. Elforbruget og dermed varmebelastningen falder tilsvarende i kontorområderne.

### Elforbrug i nyere kontorbyggeri

I projektet "Best Practice", gennemført under den tidligere "CO<sub>2</sub> besparelsesordning", er elforbruget i en række kontorbygninger undersøgt. Det fremgår, at elforbruget typisk ligger i området fra 50 til 100 kWh/m<sup>2</sup>, mens en lille gruppe bygninger har et elforbrug i området fra 30 til 50 kWh/m<sup>2</sup>. I den høje ende af forbrugsskalaen ligger en anden gruppe bygninger med et forbrug mellem 100 og 200 kWh/m<sup>2</sup>. Yderligere er der i projektet registreret varme- og vandforbrug.

Det bør således være muligt at opnå elforbrug under 50 kWh/m<sup>2</sup> ved omhyggelig planlægning og drift af fremtidens kontorbygninger. Når tallene gøres op pr medarbejder er forskellene dog relativt mindre, men måske er det vigtigere at reagere på disse forskelle, end at se på forbruget pr m<sup>2</sup>.

## Demonstrationsbyggeriet i Århus

Undersøgelserne af demonstrationsbyggeriet har omfattet simuleringer, beregninger, målinger og interviews.

### Simuleringer

Der er gennemført en række simuleringer til eftervisning af forskellige energibesparende tiltags effekt – en del af dem svarer til simuleringerne gennemført i projektets teoretiske del. Som noget specielt for demonstrationsbyggeriet blev der bl.a. fokuseret på de 1,5 m store udhæng, der er en vigtig del af bygningens udseende og samtidig fungerer som solafskærmning om sommeren.

#### *Dagslys og solafskærmning*

På det aktuelle byggeri reducerer udhængene dagslyset på arbejdspladserne, men begrænser også varmebelastningen fra solen. Fjernes eller reduceres udhænget vil det være nødvendigt at installere udvendig solafskærmning. Andre løsninger er også mulige, men de vil øge energiforbruget.

### Beregninger

#### *Køling af serverrum*

I demonstrationsbyggeriet indgik en løsning med frikøling. Der er foretaget en sammenligning af dette med en løsning med varmegenvinding under forudsætning af en varmepris på 0,37 kr/kWh, en elpris på 1,22 kr/kWh, en effektivitet (COP) for køl på 2,5 og det antages, at der er mulighed for frikøl i 5000 timer pr år (COP 11).

Med disse forudsætninger vil der være en lille driftsøkonomisk fordel ved varmegenvinding. CO<sub>2</sub>-mæssigt vil frikøling dog være at foretrække i mange fjernvarmeområder, medmindre COP øges til mindst 3.

### *Central eller decentral brugsvandsinstallation*

I demonstrationsbyggeriet indgik en løsning med decentrale beholdere. Der er i projektet foretaget en sammenligning med en løsning med én central beholder. Beregningerne viser, at varmetabet for den centrale beholder er reduceret med ca. 20 % og elforbruget til cirkulation er halveret i forhold til decentrale beholdere.

## **Målinger**

### *Målinger i demonstrationsbyggeri*

På grund af omstruktureringer med bl.a. Skats ændrede tilhørsforhold til bygningen var der først i september 2007 en konstant og uændret anvendelse af bygningerne. De fleste målinger ligger således i perioden 2007-2008.

Bygningen er forsynet med en række bimålere til el (46 stk.), varme (24 stk.) og vand (9 stk.). Målerne er tilsluttet CTS-anlægget, så det er muligt at overvåge og sætte ind overfor store forbrug. Herudover er der brugt aflæsninger og logninger fra hovedmåleren.

Der er målt temperaturer i kontorområderne samt i et udvalgt område. Derudover er der målt temperaturer i hulrummet over det nedhængte loft samt inde i betondækkene over/under rummet. Måleperioderne af 1 uges varighed har ligget i august (meget varm periode) samt i oktober og december.

Afregningsmåleren viser et elforbrug på 1100 MWh svarende til ca. 69 kWh/m<sup>2</sup> inkl. kælder (svarende til den mellemste gruppe i "Best Practice" projektet) eller 1960 kWh/medarbejder (mellem middelgruppen og den bedste gruppe i "Best Practice" projektet).

Elforbruget i tomgang er ca. 70 kW svarende til 4-5 W/m<sup>2</sup> eller ca. 40 kWh/m<sup>2</sup>/år.

Det maksimale elforbrug på timebasis er ca. 17 W/m<sup>2</sup>. De maksimale forbrug ligger noget under det, man normalt udlægger elstik for i denne type bygninger. Forbruget varierer kun lidt med det aktuelle antal medarbejdere i bygningen.

Effektforbrug til serverinstallationen ligger ret konstant på 22-23 kW efter en udvidelse i 2008. Hertil kommer et effektforbrug til køling på 1,5 kW (ved frikøling) og 5,2 kW (ved kompressorkøling).

Hver etage er opdelt i 4 områder med hver 2 bimålere til IT og til øvrigt forbrug. Forbruget til andet, hvor belysning udgør en stor del, er ret konstant henover året, hvilket overvejende kan tilskrives at dagslysstyringen er koblet fra pga. klager fra medarbejderne. Nogle målere har en forventelig stor variation henover døgnet/ugen, mens andre har påfaldende små variationer.

Belysning i fællesarealerne ligger på 350-430 kWh/døgn på hverdage og 110-120 kWh/døgn i weekends.

Bimålerens registrerede forbrug ligger 15-20 % under hovedmålerens registrering. Det er ikke undersøgt nærmere i projektet, hvad dette skyldes.

### *Varmeforbrug*

Afregningsmåleren viser et årsforbrug af fjernvarme på 1165 MWh i opvarmningssæsonen 2007-08 svarende til 85 kWh/m<sup>2</sup> (omkring gennemsnittet for kontorbygninger i Best Practice projektet).

Halvdelen anvendes i radiatorerne – resten i ventilation, gulvvarme og varmt brugsvand. Opvarmning af varmt brugsvand inkl. cirkulationstab udgør 4 % netto. Tallet er lavt pga. de decentrale anlæg og dermed korte rørstrækninger med cirkulation. Ikke bimålt forbrug udgør 16 % og indeholder tab fra varmforsyning af beholdere og fra blandesløjfer.

Ud fra månedsaflæsninger ses en indkøringsperiode på 1-2 år. Med en effektiv ibrugtagningssprocedure kan længden af indkøringen begrænses. Her er de indbyggede bimålere og temperaturfølere tilsluttet CTS-anlægget en vigtig del.

Bimålerne registrerede forbrug ligger 10-15 % under hovedmålerens visning. Det er ikke undersøgt nærmere i projektet, hvad dette skyldes.

#### *Vandforbrug*

Vandforbruget er ca. 3000 m<sup>3</sup>/år svarende til 5-6 m<sup>3</sup>/person (omkring gennemsnittet for kontorbygninger i Best Practice projektet). Effekten af regnvandsanlægget er umiddelbart begrænset, men der anvendes drikkevand til nogle bassiner og det kan forklare at bygningens vandforbrug ikke er lavere.

#### *Indetemperaturer*

Ved udetemperaturer på +10 °C og derunder sker der på døgnbasis kun en ubetydelig opvarmning af etagedækkene og dermed udnyttelse af bygningens termiske masse. Den lille opvarmning, der sker i løbet af dagen forsvinder i løbet af natten, når varmen afbrydes/sænkes.

I den varme periode er de høje udetemperaturer og de mange solskinstimer med til at presse temperaturerne i bygningen op i løbet af hverdage. Bygningens konstruktioner varmes langsomt op for at toppe i løbet af fredagen. Ved stor varmebelastning, bl.a. grundet solindfald, kan rumtemperaturerne overstige temperaturen i betondækkene med 1-2 grader.

Varmekapaciteten i betondækket ved 1 °C ændring i overfladetemperaturen over en arbejdsdag er anslået til at svare til en varmemængde på 50-75 Wh/m<sup>2</sup> (halvdelen af kapaciteten ved 1 °C ændring igennem hele elementet).

Der er i løbet af natten, i den varme periode, målt et temperaturfald i betondækkene på 0,1-0,2 °C (over nedhængt loft) hhv. 0,2-0,4 °C (gulv). Dette er ikke nok til at bygningen kan holde en konstant rumtemperatur. Med mere effektiv afkøling om natten – ved ventilering af rummene og/eller med køleslanger i dækkene - kan denne fortsatte opvarmning af konstruktionerne forhindres og dermed også temperaturstigningen i løbet af ugen.

### **Spørgeskemaundersøgelse**

I forbindelse med vurdering af demonstrationsbyggeriet i Århus blev der gennemført en spørgeskemaundersøgelse omkring det oplevede indeklima blandt medarbejderne. Der blev udsendt spørgeskema til 331 medarbejdere hvoraf 133 svarede på spørgeskemaet. Der havde tidligere være en del klager over indeklimaet fra medarbejdere i Familiecenter syd som fysisk placeret i den fløj af bygningen som er beliggende over kantinen. Der var derfor særlig opmærksomhed på svar fra denne del af bygningen. Hovedparten af bygningens arbejdspladser er placeret i storrumskontorer.

Omkring halvdelen af svarer at temperaturforholdene på arbejdspladsen er utilfredsstillende, men 67 % angiver ingen årsag til utilfredsheden. Blandt de resterende angiver 10 % årsagen som "for varmt" og yderligere 10 % som "for varierende". Desuden bemærker 87 % at der er ingen, eller kun begrænset kontrol over indetemperaturen.

På spørgsmål om kvaliteten af indeluften svarer 53 % at det er utilfredsstillende, men igen angiver mere end 43 % ingen årsag. Af de utilfredse angiver 32 % "indelukket" om årsag til dårligt indeklima og 77 % af de utilfredse angiver at de ikke har personlig kontrol over ventilationen.

Adgangen til dagslys på arbejdspladserne bliver generelt bedømt positivt, der er således 66 % der angiver adgangen til dagslys om tilfredsstillende og ca. 50 % angiver at de har personlig kontrol over solafskærmningen.

Med hensyn til støjniveauet bemærker 70 % at det er utilfredsstillende – og i bemærkningerne er der talrige der nævner storrumskontorer som den direkte kilde til støj- og indeklimaproblemerne.

Ved at se nærmere på svarene afgivet af medarbejdere med arbejdsplads i Familiecenter syd, viser det sig klart at disse generelt er mere utilfredse med indeklimaet end medarbejdere i den øvrige del af bygningen.

Ud fra svarene i demonstrationsbyggeriet ser det ud til der skal tages særligt hensyn til indeklimaet, især omkring støj, ventilation og temperaturer i

bygninger med arbejdspladser i kontorlandskaber, Det ser også ud til at være vigtigt at give medarbejderne mulighed for selv at have indflydelse på deres indeklimaforhold, da det ikke er helt entydigt blandt de utilfredse i hvilken retning en ændring af indeklimaet skal gå for at opnå større tilfredshed blandt alle medarbejdere.

## Økonomi

Informationer om økonomi er baseret på erfaringer fra en række nyere projekter, samt opslag i V&S prisbøger og må betegnes som værende ret generelle. For bygninger med specielle udformninger eller belastninger kan konklusionerne i nogle tilfælde vise sig at være anderledes.

Generelt kan det siges, at kvaliteten i byggeriet optimeres inkl. energieffektiviteten, når man går fra prioritering af anlægsøkonomi til at prioritere totaløkonomi og langtidsholdbarhed for investeringerne, der placeres i bygningerne.

## Klimaskærm

I fjernvarmeområder ligger den optimale isolering af klimaskærmen inkl. vinduer omkring niveauet for Lavenergiklasse 2 (jf. BR08). Uden for fjernvarmeområderne vil det optimale niveau ligge tættere på Lavenergiklasse 1.

## Ventilation

Naturlig ventilation har de laveste anlægsudgifter og ofte også de laveste driftsudgifter. I nogle situationer kan der dog være problemer med at opretholde den ønskede komfort med naturlig ventilation.

Hybrid ventilation kan have samme totaløkonomi som naturlig ventilation (se litteraturliste) via højere anlægsudgifter, men mindre driftsudgifter.

Overdimensionering af mekaniske ventilationsanlæg øger energieffektiviteten. En forbedring i SEL (Specifikt elforbrug til lufttransport) på 10-20 % og en forøgelse af varmegenvindingseffektivitet på 5-10 % kan således have en simpel tilbagebetalingstid på ca. 5 år

## Køling

VAV-styring af ventilationen kombineret med kølelofter er blandt de mest energieffektive former for køling i kontorbyggeri. TABS (indstøbte køleslanger i bygningens konstruktioner) og naturlig ventilation indgår ikke i den ovenfor (se "Ventilation") refererede undersøgelse.

## Belysning

El til belysning udgør mere end halvdelen af elforbruget i kontorområderne og 20-30 % af bygningens samlede elforbrug. Det er derfor specielt vigtigt at vælge effektive belysningsanlæg, der ikke nødvendigvis er meget dyrere.

Ved anvendelse af automatisk lysstyring skal man specielt være opmærksom på at det kommer til at fungere tilfredsstillende, så klager fra brugere ikke fører til, at automatikken slås fra.

## Fleksibelt elforbrug

Det er muligt, i et vist omfang, at flytte elforbruget i kontorbygninger til et andet tidspunkt på døgnet. De ekstra udgifter, dette medfører i anlæg og drift, skal kunne modsvares af lavere elpriser ved udnyttelse af tarifstyring.

Elforbruget, der bruges til komfortkøling, kan flyttes til aften/nat ved at køle konstruktionerne (normalt kun i etagedækkene) med indbyggede varme-/køleslanger eller ved at ventilere/køle bygningen om natten (påvirker alle konstruktioner og inventar).

I en kontorbygning på 15.000 m<sup>2</sup> vil der kunne flyttes op til 180 kW til lavlastperioder på elnettet. Dette svarer til op mod halvdelen af den samlede elfeffekt i arbejdstiden.

Andre muligheder for at flytte elforbrug til om natten er køl-frys i køkkener (kan kun i et vist omfang flyttes til om natten), back up på it-systemer m.m.

Med deciderede kølelagre, baseret på vand eller is, kan kølearbejdet flyttes til om natten. Dette er, på grund af investeringernes størrelse, mest oplagt i forbindelse med kølebehov, som er konstante over året (fx serverrum).

I dag er det kun variationer i elprisen, der kan give en (beskeden) besparelse i eludgifterne. Med elafgifterne tilpasset den aktuelle miljøbelastning fra elproduktionen vil der kunne blive mere markante variationer i elpriserne og derved vil det være muligt at øge motivationen til tidsmæssig optimering af elforbruget.

## Fleksibilitet

Bygninger skal kunne fungere godt i mange år, efter at de er opført. Anvendelsen kan ændre sig med tiden – fx færre/flere medarbejdere, færre/flere brugere, andre funktioner. En fleksibel bygning vil være nemmere at fylde op, når der sker ændringer hos en/flere af brugerne. Derved kan der opnås en bedre udnyttelse af bygningen, med deraf følgende flere personer at dele de fælles energiforbrug ud på og derved et lavere forbrug pr person.

Fleksibilitet og fremtidssikring giver sig bl.a. udtryk i:

- Adgang til bygningen – et fælles indgangsparti gør det muligt at ændre antallet af brugere.
- Adgang til kontorområderne m.m. – bygningen skal kunne fungere med ændringer i antal brugere uden at der skal etableres nye inddelinger.
- Fælles faciliteter fx. kantine – gør det muligt at variere antallet af brugere og man kan udnytte samtidighedsfaktoren til at optimere arealerne.
- Flexibel disponering af etagerne – ved anvendelse af åbne gulvarealer med få faste kerner (toiletter, trapper m.m.) kan der nemt ændres fra cellekontorer til storrumskontorer/møderum/andet eller omvendt.
- Storrumskontorer – er mindre følsomme for koncentrerede varmebelastninger end cellekontorer.
- Møderum – placeres ofte inde i bygningen. Der vil optræde kortere, kraftige varmebelastninger. Det bør overvejes hvordan dette problem løses uden at det påvirker resten af bygningens anlæg.
- Installationer modulopdeles – hvilket giver mulighed for at opstille skillevægge. Varmeanlægget kan zoneopdeles med radiatorer på brystningerne i hvert facademodul, fx. á 3 meter.
- Brugsvandsinstallationer placeres i få kerner centralt i bygningen uden vandret cirkulation på etagerne.
- Ventilationsanlæg overdimensioneres – det bør være muligt let at øge luftmængderne, hvis der skulle blive behov for det. Det gælder især kanalsystemerne – og især i de yderste ender.
- Belysningsanlæg med IBI-opsætning (intelligente bygningsinstallationer) reducerer behovet for fysiske indgreb – ændringer kan klares ved omprogrammering.
- CTS-anlæg med integrerede funktioner, fx PIR-følere (person infrarød registrering), CO<sub>2</sub>-følere, temperaturfølere, etc. til styring af mere end ét system, reducerer behovet for fysiske indgreb.
- Bimålere (varme, vand og el) på større forbrug – så som ventilation, server og kantine samt forbruget i kontorområderne. I kontorområderne kan elforsyningen sektionsopdeles. Et forslag til bimåling kan være årsforbrug over 5-10.000 kWh el og 20-30.000 kWh varme.



- Tomgangstab – det er vigtigt i projekteringsfasen, at se på tomgangstabile. Ved ændring af antal personer i bygningen skal energiforbruget kunne ændre sig uden at tomgangstabet påvirkes i væsentlig grad.
- Lavt energiforbrug – så er man bedre sikret mod de højere energipriser, der må forventes at komme.

## Beregninger og simuleringer

Der er i projektet anvendt BSim til at simulere indeklima og energiforbrug. Programmet er primært udviklet til simulering af en bygnings termiske indeklima og sekundært til simulering af energibehovet.

BSim medtager det samlede elforbrug til udstyr i simuleringen af kontorområderne samt ventilation og køling i samme områder. Dette udgør omkring halvdelen af bygningens samlede forbrug.

Et dækkende tal for elforbruget kræver en totalberegning med vurdering af benyttelsestider- og faktorer.

## Aflevering/ibrugtagning

Processen omkring aflevering/ibrugtagning af en bygning beskrives ofte med udtrykket "commissioning", der kan oversættes til samordnet idriftsættelse.

For at få det fulde udbytte af de komplicerede reguleringssystemer, der indbygges i moderne bygninger, er det vigtigt at følge op på disse funktioner i forbindelse med aflevering af byggeriet. Dette fremgår af erfaringer fra bl.a. nærværende projekt.

Uden denne afsluttende indsats i byggeprocessen er det ikke sikkert, at man opnår de forventede lave energiforbrug og det gode indeklima.

## Drift

Med beregninger af energiforbrug og indeklima, samt nogle velfungerende installationer er der gode muligheder for at opnå et lavt energiforbrug.

Det kræver en speciel målrettet indsats i starten, samt løbende opfølgning at opnå og fastholde et lavt energiforbrug og et godt indeklima.

Undersøgelser viser stor spredning i energiforbruget i tilsyneladende ens kontorbygninger, hvilket ofte skyldes forskelle i den måde driften udføres.

# Optimering af koncept

Denne første fase af projektet omfatter beregninger og simuleringer af energiforbrug og indeklima samt opstilling af nøgletal for både energieffektive og typiske kontorbygninger (sidst i afsnittet).

Følgende parametre er undersøgt som led i optimeringen af det fleksible, energieffektive kontorhus:

- Bygningens form og orientering,
- Klimaskærmen,
- Vinduernes placering og størrelse,
- Solafskærmningens type og orientering,
- Systemer til ventilation, køling og opvarmning,
- Styring af belysning,
- Energiforbrug til belysning og udstyr,
- Persontæthed.

Som udgangspunkt skal alle de analyserede tilfælde opfylde kravene mht. U-værdier i BR08 (tilbygninger). Overholdelse af kravene for tilbygninger i stedet for kravene til nybyggeri skyldes ønsket om at sigte imod en bygning der overholder energirammekravet. Det kan normalt ikke opnås alene ved at overholde kravene for konstruktionernes U-værdier i nybyggeri. Som variant testes det "rene" BR95 tilfælde, bl.a. af hensyn til demonstrationsbyggeriet i Viby som er projekteret under dette regelsæt. På samme måde er der regnet på betydningen af fremtidige krav – BR10/15 – og den almindelige tekniske udvikling.

Det analyseres dels hvilke dagslys- og temperaturforhold der eksisterer i de enkelte tilfælde, dels energiforbruget til ventilation, opvarmning, køling, belysning og udstyr (computere). Det er målet at opnå et på forhånd fastlagt indeklima (temperatur og dagslysforhold) eller komme så tæt på dette som muligt, samtidig med at det samlede energiforbrug er så lille som muligt.

## Bygningsudformninger

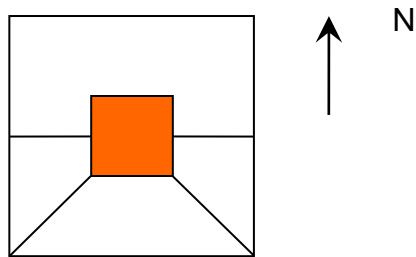
I projektet er analyseret en række kombinationer af bygningsform og -orientering, som beskrevet nedenfor. Som ydertilfælde er valgt henholdsvis en punktformet bygning med kontorlandskab og en stangformet bygning med cellekontorer. Som mellemtilfælde er valgt en stangformet bygning med kontorlandskab. Se også 'Bilag 1 Prototype, resultater'. Analyserne er gennemført med simuleringprogrammet BSim som tillader detaljerede simuleringer af energi- og indeklimateforholdene i de zoner som en bygningsmodel inddeles i. Det er muligt at regulere modellens energisystemer inden for det enkelte tidsskridt (max ½ time) i forhold til de sætpunkter som er defineret af brugeren.

### Punktformet bygning

Et udsnit af en mellemetage i en punktformet bygning med ét storrumskontor pr. etage analyseres. Den punktformede bygnings dimensioner er baseret på, at der skal være plads til arbejdspladser i to rækker regnet fra facaden og indefter samt et gangareal ind mod bygningens kerne. Der er regnet med 10 m<sup>2</sup> arbejdsplads pr. person. Hertil kommer servicefunktioner placeret i bygningens kerne, samt gangareal. Der er regnet med 3 m<sup>2</sup> gangareal pr. person.

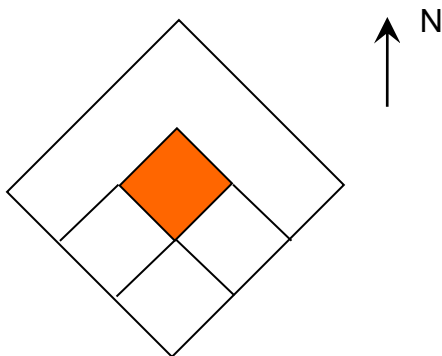
Det samlede areal pr. person inkl. servicefunktioner og ydervæg er sat til max 20 m<sup>2</sup> pr. person i kontorområdet. Dette har resulteret i en punktformet bygning med en sidelængde på 20 meter og en bygningskerne med en sidelængde på 7 meter. Hver etage rummer 24 kontorarbejdspladser i referencetilfældet. Rumhøjden er 2,7 meter, målt fra undersiden af nedhængt loft til færdigt gulv.

I det ene tilfælde er bygningen orienteret med nord-, øst-, syd- og vestvendte facader. Der foretages simulering af vest-, syd- og østvendte zoner omkring kernen, svarende til halvdelen af arealet omkring kernen, idet disse områder anses for mest kritiske for temperaturforholdene om sommeren.



Figur 1. Punktformet bygning med syd-vest-, nord- og østvendte facader. Bygningens kerne, markeret med skravering, rummer servicefunktioner. Sidelængde af facade er 20 meter. Simulering af indeklimate og energiforbrug foretages på de tre vest-, syd- og østvendte zoner.

I det andet tilfælde er bygningen orienteret med nordøst-, sydøst-, sydvest- og nordvestvendte facader. Der foretages simulering af sydvest-, syd- og sydøstvendte zoner, svarende til knap halvdelen af arealet omkring kernen.



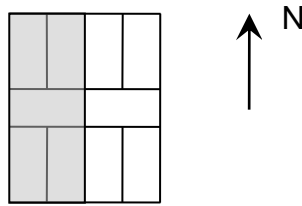
Figur 2. Punktformet bygning med sydvest-, sydøst-, nordøst og nordvestvendte facader. Bygningens kerne, markeret med skravering, rummer servicefunktioner. Sidelængde er 20 meter. Simulering af indeklimate og energiforbrug foretages på de tre sydvest-, syd- og sydøstvendte zoner.

Det er kontrolleret at den valgte geometri giver tilfredsstillende dagslysforhold, udtrykt ved en dagslysfaktor på mindst 2 % på arbejdspladserne, jf. Tabel 27 og Tabel 28 i Bilag 2 Prototype, dagslysfaktorer.

### Stangformet bygning med cellekontorer

Et udsnit af en mellemetage i en stangformet bygning med cellekontorer og en langsgående midtergang analyseres. Bygningens dimensioner er i referencetilfældet fastlagt ud fra dybden på et typisk cellekontor (4,8 m). Midtergangens bredde er sat til halvdelen af dybden på et kontor, således at bygningens bredde bliver 12 meter. Kontorerne er 2,4 meter brede, hvorved de har et nettoareal på 11,5 m<sup>2</sup>. Rumhøjden er i referencetilfældet 2,7 meter målt fra undersiden af nedhængt loft til færdigt gulv. Der regnes med en persontæthed på 1 person pr. kontor.

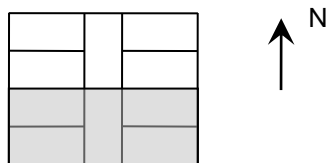
I det ene tilfælde er bygningen orienteret med nord- og sydvendte facader. Der foretages simuleringer af et etageudsnit med to sydvendte og to nordvendte kontorer, placeret ved den vestlige gavl på etagen, samt det mellemliggende stykke gangareal. Etageudsnittet er uden rum til særlige formål såsom kantine, indgangsparti m.v., for at forenkle bygningsmodellen.



Figur 3. Stangformet bygning med cellekontorer med nord- og sydvendte facader. Kontorerne er 2,4x4,8 m og gangen 2,4 meter. Simulering af indeklimate og energiforbrug foretages i det skraverede område. Der sker ingen energitransport fra det skraverede område til det hvide område.

Som en variant analyseres et udsnit bestående af de samme to sydvendte kontorer og halvdelen af gangarealet mellem de to syd- og de modstående to nordvendte kontorer. Det vil sige at gangarealet ikke simuleres som en særskilt zone, med deraf følgende reduktion af forsinkelsen for transport af varme fra zonerne i syd til zonerne i nord.

I det andet tilfælde er bygningen orienteret med øst- og vestvendte facader. Her analyseres et tilsvarende område med kontorerne placeret ved sydgavlen.



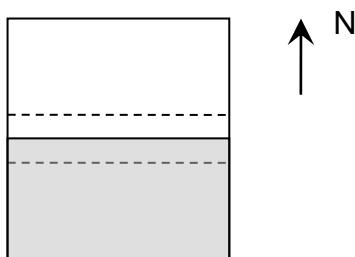
Figur 4. Stangformet bygning med cellekontorer med vest- og østvendte facader. Kontorerne er 2,4x4,8 m og gangen 2,4 meter. Simulering af indeklimate og energiforbrug foretages i det skraverede område. Der sker ingen energitransport fra det skraverede område til det hvide område.

Dagslysf forholdene er tilfredsstillende ud fra samme kriterium som er anvendt for det punktformede hus, jf. Tabel 29 i 'Bilag 2 Prototype, dagslysfaktorer'.

### Stangformet bygning med storrums kontor

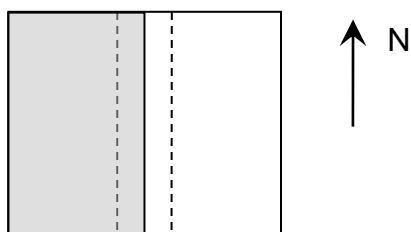
Der analyseres et udsnit af en mellemetage i en stangformet bygning med ét storrums kontor, med et åbent gangareal (uden skillevægge) gennem midten af bygningen. Bygningen har samme bredde og rummer i referencetilfældet det samme antal personer som i tilfældet med cellekontorer. Der regnes med 10 m<sup>2</sup> pr. person + service- og gangarealer m.v. Udsnittet opdeles i to termiske zoner med fiktiv grænse i gangens midterakse.

I det ene tilfælde er bygningen orienteret med nord- og sydvendte facader. Det analyserede udsnit har en sydvendt gavl.



Figur 5. Stangformet bygning med kontorlandskab og nord- og sydvendte facader. Langs bygningens midterakse er et område friholdt som gangareal, markeret med stiplede linjer. Bygningens bredde (i nord-syd retning) er 12 m. Simulering af indeklimate og energiforbrug foretages i det skraverede område. Der sker ingen energitransport fra det skraverede område til det hvide område.

I det andet tilfælde er bygningen orienteret med vest- og østvendte facader. Det analyserede udsnit har en vestvendt gavl. Denne orientering anses for mest kritisk i forhold til indetemperaturen idet bygningen er blevet opvarmet hele dagen af varmeafgivelse fra personer og udstyr når solen når vinduerne og dermed bidrager yderligere til opvarmningen.



Figur 6. Stangformet bygning med kontorlandskab og vest- og østvendte facader. Langs bygningens midterakse er et område friholdt som gangareal, markeret med stiplede linjer. Bygningens bredde (i øst-vest retning) er 12 m. Simulering af indeklimate og energiforbrug foretages i det skraverede område. Der sker ingen energitransport fra det skraverede område til det hvide område.

Også i dette tilfælde er det kontrolleret at dagsforholdene er tilfredsstillende, jf. Tabel 30 i 'Bilag 2 Prototype, dagslysfaktorer'.

## Opbygning af bygningsmodeller

I dette kapitel beskrives klimaskærm, vinduer, solafskærmning, systemer til køling, ventilation og opvarmning, belysning og udstyr, og persontæthed i referencetilfældet for de enkelte bygningstyper. Desuden beskrives de varianter, der er analyseret i en eller flere bygningsmodeller. Præcis hvilke varianter der er analyseret i den enkelte bygningsmodel, er beskrevet sidst i afsnittet, under overskriften 'Beregninger og simuleringer med BSim'.

### Klimaskærm og indvendige konstruktioner

I klimaskærmen benyttes konstruktioner som opfylder U-værdikravene defineret for tilbygninger i BR08. Der benyttes de samme typer af yder- og indervægge samt etageadskillelser i alle bygningsmodeller. I alle modeller simuleres en mellemetage, fx en 1. sal i en 3-etages bygning. Tagkonstruktion og terrændæk beskrives derfor ikke nærmere, da opbygningen af disse ikke har betydning for resultaterne.

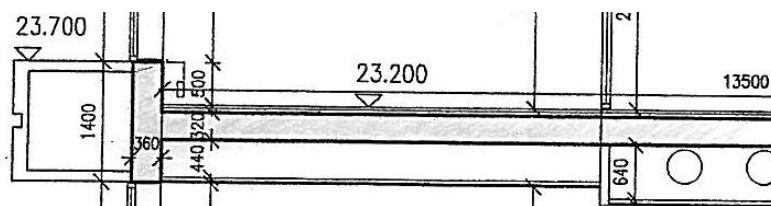
Konstruktioner benyttet i referencetilfældet tager udgangspunkt i det byggeri, der er undersøgt i fase 2.

### Reference

Ydervæggen er bærende sandwichelementer bestående af 70 mm beton (udvendig), 190 mm isolering, klasse 37 og 150 mm beton (indvendig). Der regnes med kuldebroer svarende til en massiv andel på 3 %, hvilket fører til en resulterende U-værdi på 0,2 W/(m<sup>2</sup>K).

Indervæggene i den punktformede bygning, der adskiller kontorlandskabet fra installationskernen, består af 125 mm letbeton, densitet 1600 kg/m<sup>3</sup>. Indervægge i den stangformede bygning er 120 mm tykke, opbygget af lægter med 70 mm isolering imellem og beklædt med 2 x 13 mm gipsplade på begge sider.

Etagedækkene består af 320 mm beton huldæk med 20 mm parketbrædder lagt på filt. Lofter er nedhængte metalkassetter (hulrum 400 mm) med 20 mm mineraluld.



Figur 7. Opbygning af etageadskillelse.

### Varianter

Der er analyseret et tilfælde med konstruktioner svarende til referencetilfældet, men hvor isoleringstykkelsen i ydervæggen er reduceret svarende til BR95 kravene; U-værdi 0,3 W/(m<sup>2</sup>K). Desuden er der analyseret et tilfælde hvor den tunge ydervæg er erstattet af en let facade bestående af en udvendig pladebeklædning, 190 mm isolering, klasse 37 og 2 x 13 mm gipsplade. U-værdi 0,2 W/(m<sup>2</sup>K).

### Placering og størrelse af vinduer

Vinduets placering og størrelse har betydning for lysindfald og energitilførsel.

Den bedste lysfordeling opnås med vinduer som stort set dækker facadens bredde. Det samme areal i et højt smalt vindue giver mere lys bagest i lokalene, men en stor kontrast på tværs i rummene.

Rudearealer under bordhøjde bidrager meget lidt til det generelle dagslysniveau bagest i lokalene.

### Reference

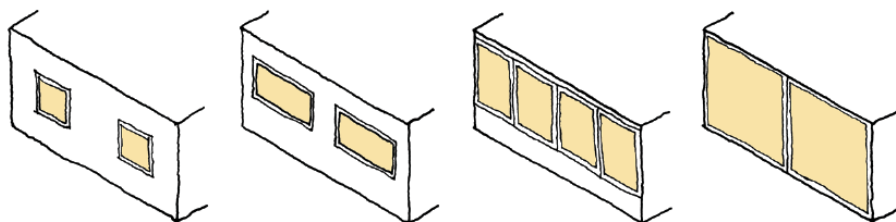
- Vinduer er placeret i flugt med facaden
- Ruder har en U-værdi på 1,2 W/(m<sup>2</sup>K), en lystransmittans på 0,78 og en g-værdi på 0,6
- Ramme/karmarealet udgør 20 % og har en U-værdi på 1,8 W/(m<sup>2</sup>K)
- Brystningens højde er 0,8 m
- Vinduernes overside er 0,2 m under nedhængt loft
- Vinduesarealet udgør 22 % af gulvarealet.

### Varianter

- Vinduesareal på 15 % af gulvarealet, opnået ved at reducere vinduesbredden.
- Vinduer i fuld facadebredde men med bibeholdt brystning, svarende til:
  - Vinduesareal på 36 % af gulvarealet i den punktformede bygning.
  - Vinduesareal på 27 % af gulvarealet i den stangformede bygning.
- Vinduer i fuld facade, dvs. brystningen fjernes, svarende til:
  - Vinduesareal på 51 % af gulvarealet i den punktformede bygning.
  - Vinduesareal på 38 % af gulvarealet i den stangformede bygning.
- Dybtliggende vinduer (placeret 1/3 af facadens tykkelse inde, regnet fra facaden forkant).

- Vindue med et ramme/karmareal på 25 %, en U-værdi for ramme/karm på  $2,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , samt en U-værdi for ruden på  $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  (BR95 tilfælde).

I alle tilfælde bibeholdes antallet af vinduer og der reguleres på størrelsen af vinduesåbningerne.



Figur 8. Vinduer med forskellig placering og størrelse.

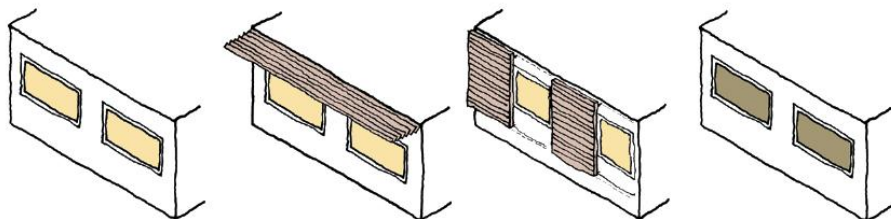
## Solafskærmning

Mængden af lys- og solindfald samt fordelingen set hen over dagen, vil afhænge af, om der benyttes en bevægelig eller en fast solafskærmning, om den er orienteret lodret eller vandret, eller om der benyttes solafskærmende glas i vinduerne.

Der kan med fordel arbejdes med solafskærmning som er delt vandret over øjenhøjde. Derved kan der skabes afskærmning for arbejdspladserne nær vinduerne, samtidig med at der kommer lys ind gennem vinduernes øverste del til arbejdspladser længere inde i rummet.

Der analyseres følgende tilfælde:

- Ingen solafskærmning (reference).
- Vandret, fast solafskærmning mellem etagerne med en dybde på  $\frac{1}{2}$  vindueshøjde.
- Lodret, fast solafskærmning med en indbyrdes afstand på 1,25 m og en dybde på 0,5 m.
- Bevægelig solafskærmning ved hvert vindue, enten en udvendig metalpersienne med en afskærmningsfaktor på 0,1 eller et indvendigt løst gardin med en afskærmningsfaktor på 0,7 til 0,85.  
Erfaringsmæssigt generes folk i højere  $^{\circ}\text{C}$  af skarpt sollys end af en høj temperatur. Den bevægelige solafskærmning styres derfor af solindfaldet uanset rumtemperaturen og aktiveres ved mere end  $150 \text{ W}/\text{m}^2$  på den indvendige side af ruden. Der skelnes mellem tilfælde med automatisk styring af henholdsvis en udvendig og en indvendig persienne - afskærmningsfaktor 0,7 (hele ugen) og manuel styring af en indvendig persienne - afskærmningsfaktor 0,85 (kun i arbejdstiden). Ved vindhastighed over 10 m/s sættes udvendig solafskærmning ud af funktion for at beskytte den.
- Solafskærmende ruder, svarende til den type der er benyttet i de hårdest belastede lokaler, hvad angår solindfald, i demonstrationsbyggeriet i Viby. Rudens U-værdi er  $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , den har en lystransmittans på 0,67 og en g-værdi på 0,34.



Figur 9. Forskellige typer af solafskærmning: ingen solafskærmning, vandret, fast solafskærmning, automatisk solafskærmning, solafskærmende glas.

I ingen af tilfældene regnes med afskærmende beplantning eller nabobygninger.

## Systemer til opvarmning, ventilation og køling

Systemer til opvarmning, ventilation og køling kan kombineres på mange forskellige måder afhængig af behovene og hvilke grundlæggende principper man ønsker at benytte dels for afgivelse af energi og dels for styring af systemerne. Behovet for mekanisk køling vil kunne reduceres hvis bygningen køles om natten med natteluft.

I BSim-modellerne regnes opvarmningssystemet kun aktivt i fyringssæsonen, mens natkøling regnes aktivt i perioden maj-august, dels fordi det svarer til virkeligheden, dels for at undgå modstridende styringsparametre.

### Reference

I referencetilfældet benyttes systemerne angivet i Tabel 1. Referencen er som demonstrationsbyggeriet, uden mekanisk køling.

Tabel 1. Systemer til opvarmning, ventilation og køling i referencetilfældet.

| System                                       | Bemærkninger  |
|--|---|
| Opvarmning                                   | Radiatorer<br>Setpunkt på 22 °C ma-fr fra kl. 07 til 17, og 20 °C resten af ugen, i fyringssæsonen  |
| Varmeakkumulering i etageadskillelser        | Betondækkene er ikke frilagte nedad   |
| Infiltration                                 | 0,2 h <sup>-1</sup>   |
| Luftudveksling mellem zoner (storrumskontor) | Luftudveksling på 0,75 – 1,0 m <sup>3</sup> /s mellem de termiske zoner som bygningen opdeles i   |
| Luftudveksling mellem zoner (cellekontorer)  | Ingen   |
| Mekanisk ventilation <sup>1</sup>            | VAV-styring med et minimum luftskifte på 10 l/s pr. person og en VAV-faktor på 4<br>Aktivt ma-fr kl. 08 til 17  |
| Varmegenvinding på ventilation               | Effektivitet: 65 %  |
| Natkøling                                    | Mekanisk ventilation med et fast luftskifte på det dobbelte af minimumluftskiftet om dagen<br>Setpunkt 20 °C. Aktivt hver nat fra kl. 21 til kl. 06, undtagen natten mellem lørdag og søndag) |
| Udluftning                                   | Ingen   |
| Mekanisk køling                              | Ingen   |

1) Svarer til luftskifter på 1,35 – 5,4 /h baseret på et nettoareal på 10 m<sup>2</sup>/person.

Luftudveksling (mixing) gennem åbningen mellem zonerne er sat til en værdi der svarer til en lufthastighed på 0,1 m/s. Ifølge SBI-anvisning 189 må ventilationen ikke medføre lufthastigheder i opholdsrum, der overstiger 0,15 m/s, som ofte regnes som for grænsen for hvornår mennesker føler træk på grund af luftens strømning omkring kroppen.

Infiltrationen er som reference sat til 0,2 h<sup>-1</sup> eller ca. 0,15 l/s/m<sup>2</sup> etageareal. Denne værdi svarer til at en ny bygning netop overholder Bygningsreglementets krav om lufttæthed.

### Varianter

Der opereres med en række varianter, som angivet i Tabel 2. I tilfældet med frilagte beton i loftet flyttes etageadskillelsen, så nettoetagehøjden stadig er 2,7 meter som i referencetilfældet.

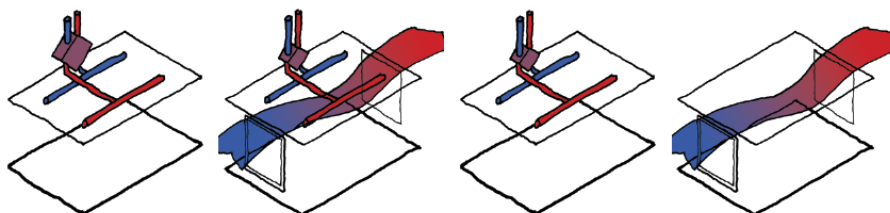


Tabel 2. Systemer til opvarmning, ventilation, køling, varianter.

| System  | Bemærkninger  |
|---|---|
| Opvarmning                                      | Radiatorer er 50 % eller 100 % erstattet af gulvvarme   |
| Varmeakkumulering i etageadskillelser           | Henholdsvis 20 % og 100 % af etagedækket er frilagt   |
| Infiltration                                    | 0,4 h <sup>-1</sup> og 0,8 h <sup>-1</sup> kombineret med BR95-krav til U-værdier   |
| Luftudveksling mellem zoner (storrums-kontorer) | Ingen mixing  |
| Varmegenvinding på ventilation                  | Effektivitet: 80 %<br>0 % (ingen varmegenvinding)   |
| Udluftning (cellekontorer)                      | Temperaturregulering ved manuel åbning af vinduer <sup>1</sup>  |
| Naturlig ventilation (udluftning)               | Om natten eller hele døgnet, som erstatning for mekanisk ventilation  |
| Mekanisk køling                                 | 1) Køling af luften samt halveret maksimalt luftskifte (VAV)<br>2) Køleflade med en maksimal effekt på 1,5 kW samt CAV (fast luftskifte) <sup>2</sup><br>3) Køling eller opvarmning ved at flytte kulde eller varme fra facade til facade (bygning med cellekontorer) |

1) Dækker tilfældet "Hybridventilation med størst mulig brug af naturlig ventilation".

2) Svarende til en VAV-faktor på 1, eller et luftskifte på 1,35 /h med 10 m<sup>2</sup> nettoareal pr. person.



Figur 10. Forskellige typer af ventilationssystemer: mekanisk ventilation med varmegenvinding, mekanisk ventilation om dagen og naturlig ventilation om natten, optimeret mekanisk ventilation, naturlig ventilation.

## Belysning og udstyr

Der skelnes mellem almen belysning i hele kontorområdet og arbejdspladsbelysning ved det enkelte skrivebord. Udstyr omfatter udelukkende pc'er, idet andet udstyr såsom printere, kopimaskiner mv. er placeret i særlige rum udenfor kontorområdet.

### Referencetilfælde

I referencetilfældet styres den almene belysning efter det samlede solindfald i zonen. Hvis solindfaldet overstiger en vis værdi, slukkes den almene belysning. Det samme sker, hvis indetemperaturen overskrider en valgt værdi, dog under forudsætning af at der er et vist mindste niveau af sollys til stede. Som udgangspunkt regnes med at lyset er slukket udenfor arbejdstiden.

Afhængig af årstiden regnes kun en del af den almene belysning som værende tændt, udtrykt ved benyttelsesfaktoren. Om sommeren er halvdel af almenbelysningen tændt, om for/efteråret er 70 % tændt og om vinteren er hele almenbelysningen tændt inden for arbejdstiden.

Tabel 3 angiver værdier for belysning og udstyr i referencetilfældet. Belysningskilden er lysstofrør.

Tabel 3. Belysning og udstyr i referencetilfældet.

| Type eller kategori                   | Udformning  |
|---------------------------------------|---|
| Almen belysning                       | Effekt: 10 W/m <sup>2</sup> . Styres efter det totale solindfald  |
| Arbejdspladsbelysning                 | 60 W pr. arbejdsplads. Tændt inden for arbejdstiden.  |
| Udstyr (pc)                           | Computere med en belastning på 80 W (fladskærm + stationær harddisk)<br>Printere m.v. står i separate rum og indgår ikke i analysen                           |
| Standby på pc                         | Standby forbrug på 6 W udenfor arbejdstiden   |
| Periode hvor lys og udstyr er tændt   | I arbejdstiden (mandag til fredag kl.8 til 17)  |
| Benyttelsesfaktor (almen belysning) * | 0,5 (jun-aug)<br>0,7 (mar-maj og sep-nov)<br>1,0 (dec-feb)  |
| Samtidighedsfaktor                    | 0,7 for personer, pc og arbejdspladsbelysning uanset kontortype. Den afsatte effekt fra personer, pc og arbejdspladsbelysning er derfor 70 % af det maksimale |

\*) Ved sammenligning af referencetilfældet med modeller hvor der benyttes dagslysstyring af kunstlyset benyttes følgende benyttelsesfaktorer: 0,7 (jun-aug); 0,85 (mar-maj og sep-nov).

Hertil kommer et tomgangsforbrug afsat i kontorer fra automatik mv., der erfaringsmæssigt kan udgøre op mod 0,5 W/m<sup>2</sup>. Forbruget er kun indregnet som en variant til basistilfældet og indgår derfor ikke i varianterne beskrevet nedenfor. Se også afsnittet Elforbrug i nyere kontorbyggeri.

I løsningen med cellekontorer regnes lyset på gangen for at være tændt i arbejdstiden, uanset hvordan lyset styres på kontorerne, idet gangen er uden vinduer.

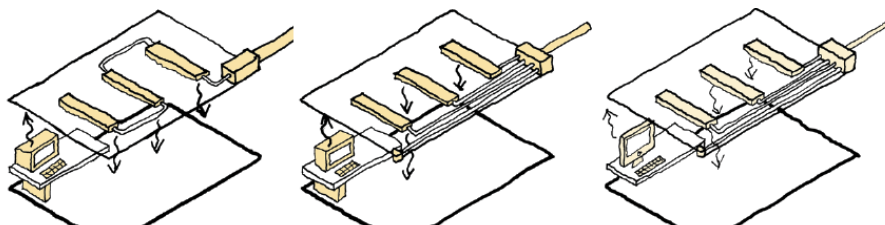
#### Varianter

Som variant styres den almene belysning efter dagslysniveauet (lux), således at der sker en trinvis reduktion af belysningen i zonen, afhængig af, hvor meget dagslys der kan registreres i et bestemt punkt i zonen. Punktet er placeret i et plan 0,85 m over gulvet, halvvejs mellem facaden og bagvæggen. Ved et dagslysniveau på 300 lux eller mere i målepunktet regnes almenbelysningen for slukket. På en jævnt overskyet dag vil belysningsstyrken på en udvendig, ubeskyttet vandret flade være 10.000 lux. Med en dagslysfaktor på 2 % i et givet punkt inde i en bygning svarer det til 200 lux i punktet.

Tabel 4 angiver de benyttede varianter for belastning fra belysning og udstyr. Varianter med energibesparende armaturer på almenbelysning (7 W/m<sup>2</sup>), på arbejdspladsbelysning (15 W) og pc'er er analyseret samlet, ud fra en formodning om, at hvis der fokuseres på energibesparelser, så vælges "hele pakken".

Tabel 4. Belysning og udstyr, varianter.

| Type eller kategori                | Udformning   |
|------------------------------------|--|
| Almen belysning                    | Styring af almen belysning efter dagslysniveau<br>7 W/m <sup>2</sup>   |
| Arbejdspladsbelysning              | 15 W pr. arbejdsplads (lavenergipærer). Tændt inden for arbejdstiden.  |
| Periode hvor lyset er tændt        | ma-fr kl. 08-17  |
| Udstyr (pc)                        | Traditionel skærm, 145 W pr. arbejdsplads. Standby forbrug 10 W.<br>Bærbar + fladskærm, 50 W pr. arbejdsplads.<br>Standby forbrug 2 W. |
| Samtidighedsfaktor (cellekontorer) | 1,0 for personer, pc og arbejdspladsbelysning  |



Figur 11. Intern varmebelastning fra udstyr og belysning: normal belastning, dagslysstyring og normalt udstyr, dagslysstyring og lavenergiudstyr.

## Persontæthed

Som udgangspunkt tilstræbes samme persontæthed (netto m<sup>2</sup> pr. person) på en etage i alle bygningstyper, uanset at det kan føre til forskellige størrelser af bygningerne (jf. kapitlet 'Bygningsudformninger'). I referencetilfældet regnes der med at 70 % af personerne er til stede samtidigt inden for arbejdstiden.

### *Punktformet bygning*

I referencetilfældet er der 10 netto m<sup>2</sup> hhv. 20 brutto m<sup>2</sup> (inkl. gangarealer, servicearealer i bygningens kerne, klimaskærm), pr. person. Servicearealerne indgår ikke i simuleringerne.

Som variant regnes med 50 % flere arbejdspladser på samme areal, med tilhørende computere og arbejdspladsbelysning.

### *Stangformet bygning med cellekontorer*

I referencetilfældet er der 11,5 netto m<sup>2</sup> (1 kontor) samt et gangareal svarende til lidt under 3 m<sup>2</sup> pr. person.

Som variant undersøges den samme etage, hvor alle personer er til stede i hele arbejdstiden.

### *Stangformet bygning med storrumskontor*

I referencetilfældet placeres samme antal arbejdspladser som i det tilsvarende udsnit af den stangformede bygning med cellekontorer.

Som variant placeres 50 % flere arbejdspladser på samme areal, med tilhørende computere og arbejdspladsbelysning.

## Beregninger og simuleringer med BSim

Alle simuleringer er gennemført for et helt år med udeklima som det danske Design Reference Year (DRY). Andelen af timer i arbejdstiden hvor temperaturen er mellem 21,5 °C og 24,5 °C, er benyttet som indikator for kvaliteten af indeklimaet idet dette temperaturinterval er det optimale for almindeligt kontorarbejde. Ved beregning af det samlede energiforbrug er benyttet en faktor 2,5 på el-forbruget i henhold til (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2005). Indikatoren for indeklimaet bør være så høj som muligt, mens indikatoren for energiforbruget bør være så lav som muligt.

Det samlede energiforbrug omfatter energiforbrug til opvarmning og køling, samt el-forbrug til belysning og pc-udstyr inkl. standby forbrug og drift af ventilatorer, men f.eks. ikke el-forbrug til pumper, servere, kopimaskiner og printere, kantine, elevatorer, CTS, svagstrøm, udendørs belysning osv. Energiforbruget kan derfor ikke uden videre sammenholdes med kravet til energiramme i BR08.

I tilfælde med mekanisk køling tilstræbes det at opfylde anbefalingerne til temperaturforhold angivet i DS 474. Af samme grund registreres antallet af timer i arbejdstiden over henholdsvis 26 og 27 °C.

## Resultater af simuleringer

I dette afsnit præsenteres resultaterne af simuleringer med BSim. Med mindre andet er angivet, er der i et givet tilfælde kun ændret en enkelt parameter i forhold til referencetilfældet. Der er primært foretaget simuleringer af den punktformede bygning med sydvendt facade og den stangformede bygning med cellekontorer orienteret med sydvendt facade.

Tabellerne i dette afsnit viser resultaterne som % af arbejdstiden, hvor temperaturen er i komfortintervallet, samt det totale primærenergiforbrug i kWh/m<sup>2</sup>. 'Bilag 1 Prototype, resultater', der indeholder en samlet oversigt over resultater fra simuleringer med BSim, indeholder også resultater for antal timer i arbejdstiden med temperatur over 26 °C og 27 °C, samt en underopdeling af energiforbruget på opvarmning, ventilation/køling, belysning og pc-udstyr.

### Referencetilfælde

Hovedresultaterne er gengivet i tabel 5.

Tabel 5. Referencetilfælde. Hovedresultater.

|                                       | 21,5 °C < temp < 24,5 °C<br>% af arbejdstid | Energiforbrug<br>kWh/m <sup>2</sup> |
|---------------------------------------|---|-------------------------------------|
| Punktformet bygning                   |   |                                     |
| Sydvendt facade                       | 85  | 137                                 |
| Sydvendt hjørne                       | 82  | 136                                 |
| Stangformet bygning                   |   |                                     |
| cellekontorer, N- og S-vendte facader | 73  | 151                                 |
| cellekontorer, Ø- og V-vendte facader | 81  | 157                                 |
| storrums, N- og S-vendte facader      | 89  | 145                                 |
| storrums, Ø- og V-vendte facader      | 89  | 151                                 |

Energiforbrug: Det samlede årlige energiforbrug til opvarmning, ventilation, køling, belysning og pc-udstyr i kontorområdet.

I den punktformede bygning er energiforbruget 8-12 % lavere pr. m<sup>2</sup> end i den stangformede bygning, hvor udformningen med cellekontorer har det højeste energiforbrug pr m<sup>2</sup>.

Samtidig er indeklimaet dårligst (73 % af timer inden for komfortintervallet) i den stangformede bygning med cellekontorer og bedst i den åbne udgave af den stangformede bygning (89 %).

For den punktformede bygning har orienteringen næsten ingen betydning for energiforbruget, men der er 5 procentpoint flere timer inden for komfortintervallet med nord-syd orientering.

Den stangformede bygning har et lidt højere energiforbrug med øst-vest orientering end med syd-nord orientering. I den stangformede bygning med cellekontorer øges andelen af timer inden for komfortintervallet fra 73 % ved orientering nord-syd til 80 % ved øst-vest orientering.

I referencetilfældet fordeler energiforbruget sig som vist i tabel 6.

Tabel 6. Fordeling af energiforbruget i kontorzonen i referencetilfældet.

| Type   | Andel af det samlede energiforbrug |
|--|------------------------------------|
| Opvarmning                                     | 11 %                               |
| El-forbrug til ventilation og køling           | 21 %                               |
| El-forbrug til belysning                       | 39 %                               |
| El-forbrug til pc-udstyr inkl. standby-forbrug | 21 %                               |
| Tomgangstab på automatik mv.                   | 8 %                                |

Fordelingen på de angivne kategorier er baseret på, at energiforbrug til el er ganget med en faktor 2,5 af hensyn til sammenligning med energiforbruget til opvarmning, i henhold til BR08 (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2009).

## Varmeakkumulering og klimaskærm

Hovedresultaterne er gengivet i tabel 7.

Tabel 7. Varmeakkumulering og klimaskærm. Hovedresultater.

|                           | Stangformet bygning med cellekontorer<br>(N- og S-vendte facader) |                    | Punktformet bygning med syd-vendt facade |                    |
|---------------------------|---|--------------------|--|--------------------|
|                           | Timer [%]   | kWh/m <sup>2</sup> | Timer [%]                                | kWh/m <sup>2</sup> |
| Reference (nedhængt loft) | 73  | 151                | 85                                       | 137                |
| 100 % tilg. Loft          | 79  | 150                | 92                                       | 132                |
| 20 % tilg. Loft           |   |                    | 86                                       | 136                |
| Let facade                |   |                    | 81                                       | 140                |
| BR95-krav                 | 79  | 179                | 88                                       | 158                |

Timer: Andel af arbejdstiden på årsbasis med temperaturer mellem 21,5 °C og 24,5 °C.

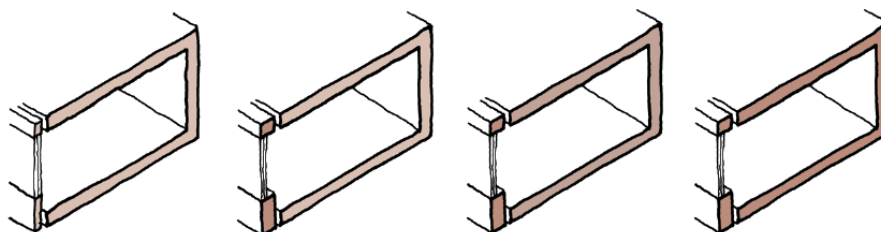
kWh/m<sup>2</sup>: Det samlede årlige energiforbrug til opvarmning, ventilation, køling, belysning og pc-udstyr i kontorområdet.

En delvis eller fuldstændig frilægning af etageadskillelsen for at udnytte betonens varmeakkumulerende evne, har en begrænset effekt på det samlede energiforbrug i kontorområdet. Størst effekt har en fuldstændig frilægning af etageadskillelsen i den punktformede bygning, hvor der kan hentes 3-4 % på energiforbruget. Et sådant tiltag vil dog næppe være realistisk pga. de akustiske forhold.

Indeklimaet, udtrykt ved andelen af timer i arbejdstiden mellem 21,5 °C og 24,5 °C, forbedres i begge bygningstyper ved at frilægge hele eller dele af etageadskillelsen.

Valget mellem en let og en tung facade har en begrænset effekt på indeklima og energiforbrug, dog således at energiforbruget øges med ca. 2 % og indeklimaet forværres en smule ved at vælge en let facade til den punktformede bygning.

Derimod har U-værdien for klimaskærmen samt klimaskærmens tæthed – udtrykt ved størrelsen af infiltrationen – betydning for energiforbruget pga. et øget opvarmningsbehov. Erstattes BR08-kravene med kravene i BR95 samtidig med at infiltrationen fordobles eller firdobles i forhold til kravet til lufttæthed til nye bygninger, øges energiforbruget pr m<sup>2</sup> i den punktformede bygning med 15 til 20 %. Til gengæld forbedres indeklimaet en smule idet den øgede infiltration er en anden måde at øge ventilationen på, og dermed nedbringe antallet af timer med høje temperaturer.



Figur 12. Bygningens evne til at akkumulere varme og kulde bestemmes bl.a. af den tilgængelige termiske masse: let facade og let loft; tung facade og let loft; tung facade og delvist tungt loft; tung facade og tungt loft.

## Vinduesareal- og placering

Hovedresultaterne er gengivet i tabel 8.

Tabel 8. Vinduesareal. Hovedresultater.

|                                   | Stangformet bygning med cellekontorer (N- og S-vendte facader) |                    | Punktformet bygning med sydvendt hjørne |                    | Punktformet bygning med sydvendt facade |                    |
|-----------------------------------|--|--------------------|---|--------------------|---|--------------------|
|                                   | Timer [%]  | kWh/m <sup>2</sup> | Timer [%]                               | kWh/m <sup>2</sup> | Timer [%]                               | kWh/m <sup>2</sup> |
| Reference (22 % vinduesareal)     | 73   | 151                | 80                                      | 136                | 85                                      | 137                |
| Begrænset areal (15 %)            |  |                    |   |                    | 92                                      | 129                |
| Optimeret mht. dagslys            | 63   | 155                | 62                                      | 149                | 66                                      | 150                |
| Fuld glasfacade                   | 49   | 157                | 50                                      | 158                | 53                                      | 163                |
| Vindue rykket 1/3 ind fra facaden |  |                    |   |                    | 83                                      | 137                |

Timer: Andel af arbejdstiden på årsbasis med temperaturer mellem 21,5 °C og 24,5 °C

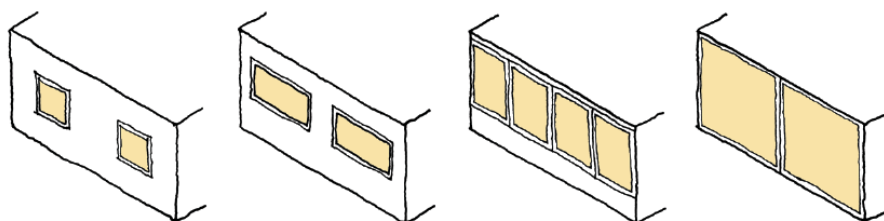
kWh/m<sup>2</sup>: Det samlede årlige energiforbrug til opvarmning, ventilation, belysning og pc-udstyr i kontorområdet.

Med stigende vinduesareal stiger andelen af arbejdstiden hvor indetemperaturen er uønsket høj, jf. 'Bilag 1 Prototype, resultater'. Samtidig øges energiforbruget, primært pga. et øget energiforbrug til opvarmning og sekundært pga. et øget energiforbrug til køling.

Går man fra referencetilfældets 22 % vinduesareal til et tilfælde med fuld glasfacade, uden at kompenseres for dette i form af solafskærmning eller lignende, øges antallet af timer over 26/27 °C fra 306/152 timer i referencetilfældet til 918/725 timer i den stangformede bygning med cellekontorer og fra 137/76 timer til 861/688 timer i den punktformede bygning. Det betyder samtidig, at andelen af timer mellem 21,5 °C og 24,5 °C reduceres fra 73 til 49 % i den stangformede bygning og fra 85 til 53 % i den punktformede bygning.

Fuld glasfacade giver et væsentligt større vinduesareal i den punktformede bygning (51 %) end i den stangformede (38 %), bl.a. fordi der ikke er vinduer i gavlen på sidstnævnte. Effekten af en fuld glasfacade på energiforbruget er derfor væsentlig større i den punktformede bygning, hvor energiforbruget pr. m<sup>2</sup> øges med ca. 20 %, mens det kun øges med 5 % i cellekontorbygningen.

Det har praktisk taget ingen effekt på indeklimaet eller energiforbruget i den punktformede bygning om vinduerne er placeret i flugt med facadelinien eller 1/3 inde i forhold til facadernes tykkelse.



Figur 13. Vinduesarealet har stor betydning for solbelastningen i bygningen.

## Solafskærmning

Tabel 9. Solafskærmning. Hovedresultater.

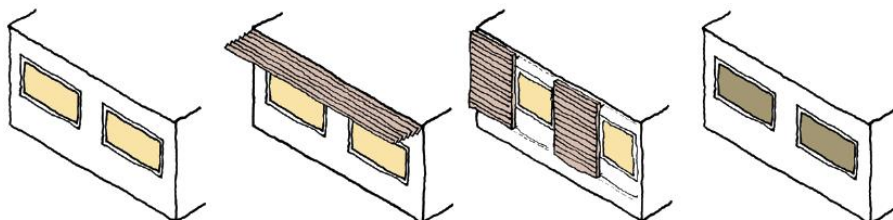
|                            | Stangformet bygning med cellekontorer (N- og S-vendte facader) |                    | Punktformet bygning med sydvendt hjørne |                    | Punktformet bygning med sydvendt facade |                    |
|----------------------------|--|--------------------|---|--------------------|---|--------------------|
|                            | Timer [%]  | kWh/m <sup>2</sup> | Timer [%]                               | kWh/m <sup>2</sup> | Timer [%]                               | kWh/m <sup>2</sup> |
| Reference (ingen solafsk.) | 73   | 151                | 80                                      | 136                | 85                                      | 137                |
| Vandret, fast              | 80   | 151                | 85                                      | 136                | 87                                      | 136                |
| Udv. persiener, aut.       | 81   | 150                | 87                                      | 138                | 89                                      | 138                |
| Solafskærmende glas        | 89   | 152                | 91                                      | 135                | 94                                      | 141                |

Timer: Andel af arbejdstiden på årsbasis med temperaturer mellem 21,5 °C og 24,5 °C

kWh/m<sup>2</sup>: Det samlede årlige energiforbrug til opvarmning, ventilation, belysning og pc-udstyr i kontorområdet.

Anvendelse af solafskærmning, uanset om den er fast eller bevægelig, har kun begrænset betydning for indeklimaet i de simulerede bygningsmodeller, så længe vinduesarealet er på 22 % (reference). Undtagelsen er anvendelsen af solafskærmende glas. I dette tilfælde øges andelen af timer mellem 21,5 °C og 24,5 °C fra 73 til 89 % for cellekontorløsningen, fra 80 til 91 % for det punktformede hus ved sydøst- og sydvestvendte facader og fra 85 til 93 % for det punktformede hus med sydvendt facade. Samtidig reduceres antallet af timer med temperatur over 26 °C fra 306 timer til 98 timer i cellekontorløsningen, fra 175 timer til 80 timer i det punktformede hus ved sydøst- og sydvestvendte facader og fra 135 timer til 55 timer for det punktformede hus med sydvendt facade, jf. 'Bilag 1 Prototype, resultater'. Effekten på indeklimaet er således størst i cellekontorløsningen, hvilket hænger sammen med, at der i denne bygningstype ikke er regnet med luftudveksling (Mixing) mellem naborum, svarende til at dørene fra kontorerne er lukkede.

Uanset hvilken type solafskærmning der vælges, vil energiforbruget øges, om end forskellen er minimal i flere tilfælde. Effekten er størst ved brug af solafskærmende glas og især for den punktformede bygning med sydvendt facade, hvor energiforbruget øges med ca. 3 %. Stigningen skyldes primært et øget forbrug af energi til opvarmning fordi solafskærmningen er permanent og derfor begrænser varmetilskuddet fra sollyset, også i fyringssæsonen.



Figur 14. Solafskærmningen har kun mindre betydning for bygningens solbelastning.

## Opvarmning

Hovedresultaterne er gengivet i tabel 10.

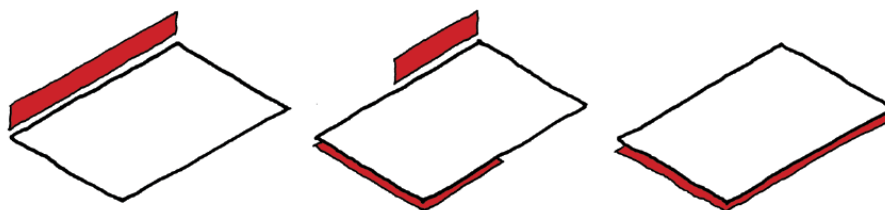
Tabel 10. Opvarmning. Hovedresultater.

|                        | Punktformet bygning med sydvendt facade |                    |
|------------------------|---|--------------------|
|                        | Timer [%]                               | kWh/m <sup>2</sup> |
| Reference (radiatorer) | 85                                      | 137                |
| 50 % gulvvarme         | 85                                      | 133                |
| 100 % gulvvarme        | 84                                      | 132                |

Timer: Andel af arbejdstiden på årsbasis med temperaturer mellem 21,5 °C og 24,5 °C

kWh/m<sup>2</sup>: Det samlede årlige energiforbrug til opvarmning, ventilation, belysning og pc-udstyr i kontorområdet.

Temperaturforholdene påvirkes ikke og energiforbruget reduceres med mindre end 4 % ved at skifte opvarmningsform i den punktformede bygning fra radiatorer til gulvvarme eller en kombination af disse.



Figur 15. Opvarmningssystemer: kun radiatorer; en kombination af radiatorer og gulvvarme; alene gulvvarme.

## Ventilation

Hovedresultaterne er gengivet i tabel 11.

Tabel 11. Ventilation. Hovedresultater.

|                                    | Stangformet bygning med cellekontorer (N- og S-vendte facader) |                    | Punktformet bygning med sydvendt facade |                    |
|------------------------------------|--|--------------------|---|--------------------|
|                                    | Timer [%]  | kWh/m <sup>2</sup> | Timer [%]                               | kWh/m <sup>2</sup> |
| Reference                          | 73   | 151                | 85                                      | 137                |
| 80 % virkn.grad på VGV             | 73   | 148                | 85                                      | 134                |
| Ingen varmegenvinding              |  |                    | 83                                      | 150                |
| Naturlig ventilation               |  |                    | 88                                      | 102                |
| CO <sub>2</sub> styring (klasse A) |  |                    | 89                                      | 109                |

Timer: Andel af arbejdstiden på årsbasis med temperaturer mellem 21,5 °C og 24,5 °C

kWh/m<sup>2</sup>: Det samlede årlige energiforbrug til opvarmning, ventilation, belysning og pc-udstyr i kontorområdet.

Det samlede energiforbrug i kontorzone reduceres med ca. 2 % ved at øge virkningsgraden på varmegenvindingen fra 65 % til 80 %. Det skyldes, at energiforbruget til opvarmning udgør mindre end 15 % af det samlede energiforbrug. Til gengæld øges energiforbruget med ca. 15 % hvis varmegenvindingen udelades.

Langt større effekt har det at erstatte den mekaniske ventilation i den punktformede bygning med naturlig ventilation. Herved skæres 25 % af det samlede energiforbrug i kontorzone, samtidig med at antallet af timer med en temperatur over 26/27 °C reduceres fra 73/135 timer til 26/72 timer, jf. 'Bilag 1 Prototype, resultater'.

Lader man CO<sub>2</sub>-niveauet i indeluften være styrende for ventilationsgraden og styringen efter en ønsket indetemperatur komme i anden række, vil man stadig opnå en besparelse på energiforbruget, men besparelsen vil mindskes jo skrapere krav til CO<sub>2</sub>-niveauet der styres efter.

## Luftudveksling og udluftning

Hovedresultaterne er gengivet i tabel 12.

Tabel 12. Luftudveksling og udluftning. Hovedresultater.

|   | Stangformet bygning med cellekontorer (N- og S-vendte facader) |                    | Punktformet bygning med sydvendt hjørne |                    | Punktformet bygning med sydvendt facade |                    |
|---|--|--------------------|---|--------------------|---|--------------------|
|   | Timer [%]  | kWh/m <sup>2</sup> | Timer [%]                               | kWh/m <sup>2</sup> | Timer [%]                               | kWh/m <sup>2</sup> |
| Reference   | 73   | 151                | 80                                      | 136                | 85                                      | 137                |
| Fordoblet luftudveksling                            |  |                    | 80                                      | 136                | 85                                      | 137                |
| Vinduer åbnes manuelt hvis indetemperaturen > 24 °C | 89   | 149                | 88                                      | 136                | 92                                      | 136                |
| Vinduer og døre åbnes                               | 88   | 150                |   |                    |   |                    |

Timer: Andel af arbejdstiden på årsbasis med temperaturer mellem 21,5 °C og 24,5 °C

kWh/m<sup>2</sup>: Det samlede årlige energiforbrug til opvarmning, ventilation, belysning og pc-udstyr i kontorområdet.

Vinduer og døre åbnes: Vinduer åbnes manuelt, hvis temperaturen overstiger 24 °C, samtidig med at døre til alle kontorer åbnes, sådan at der kan overføres varme fra sydvendte til nordvendte kontorer.

Indeklimaet forbedres betydeligt ved at tillade manuel åbning af vinduer for at holde en temperatur på 24 °C, især i tilfældet med cellekontorer, hvilket skyldes at dørene ud til gangen regnes for lukkede, mens der i storrumsstilfældet er en intern luftudveksling mellem zonerne. Andelen af timer mellem 21,5 °C og 24,5 °C øges fra 73 % til 89 % ved at tillade åbning af vinduerne for udluftning i cellekontorbygningen med et vinduesareal på 22 %. Effekten er endnu større i tilfælde med et større vinduesareal og skyldes dels at det er muligt at åbne et større vinduesareal og dels at de større vinduer giver et større tilskud af solvarme.



I tilfældet med storrumskontor (punktformet bygning) er effekten noget mindre og det er desuden tvivlsomt om en sådan løsning vil kunne fungere i praksis i et storrumskontor, hvor der er forskellige opfattelser af, hvornår det er for varmt/koldt/meget træk. I ingen af tilfældene påvirkes energiforbruget af at manuel åbning af vinduerne indgår i styringen af indeklimaet.

Fordobling af luftudveksling mellem zonerne påvirker hverken indeklimaet eller energiforbruget. Elimineres luftudvekslingen helt giver det et større antal timer med temperatur over komfortniveauet, men energiforbruget påvirkes kun marginalt. Se 'Bilag 1 Prototype, resultater'.

Effekten af at flytte varme eller kulde mellem den varme og den kolde side af bygningen er undersøgt i cellekontorbygningen med nord- og sydvendte facader, hvor effekten skønnes at være størst.

Det viser at indeklimaet kan forbedres ved at tillade en sådan overførsel. I referencetilfældet overholder cellekontorbygningen langt fra anbefalingerne til indeklimaet, idet der er henholdsvis ca. 150 timer og ca. 300 timer over 27 og 26 °C. Dette reduceres til henholdsvis ca. 40 timer og ca. 80 timer ved at tillade overførsel af luft fra de sydvendte til de nordvendte rum, jf. 'Bilag 1 Prototype, resultater'. Forbedringen sker uden at energiforbruget påvirkes.

## Køleprincip

Hovedresultaterne er gengivet i Tabel 13.

Tabel 13. Køleprincip. Hovedresultater.

|                                     | Stangbygning m. cellekontorer<br>(N- og S-vendte facader) |                    | Punktformet bygning med<br>sydvendt facade |                    |
|-------------------------------------|---|--------------------|--|--------------------|
|                                     | Timer [%]   | kWh/m <sup>2</sup> | Timer [%]                                  | kWh/m <sup>2</sup> |
| Reference (ingen mekanisk køling)   | 73  | 151                | 85   | 137                |
| VAV + mekanisk køling               | 81  | 155                | 93   | 140                |
| VAV m ½ luftmgd. og mekanisk køling |   |                    | 73   | 134                |
| CAV                                 |   |                    | 90   | 142                |

Timer: Andel af arbejdstiden på årsbasis med temperaturer mellem 21,5 °C og 24,5 °C

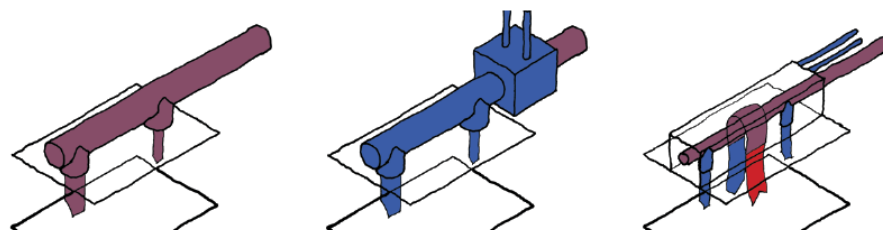
kWh/m<sup>2</sup>: Det samlede årlige energiforbrug til opvarmning, ventilation, belysning og pc-udstyr i kontorområdet.

Referencetilfældet indeholder ingen mekanisk køling, men overholder til gengæld ikke anbefalingerne til termisk indeklima i DS 474. Ved at tilføje en køleflade med en passende effekt er det muligt at overholde anbefalingerne på bekostning af en forøgelse af det samlede energiforbrug i kontorzone med 3-4 %.

Anbefalingerne til temperaturforholdene i indeklimaet kan også overholdes ved at halvere den maksimale luftmængde som den mekaniske ventilation kan operere med, og supplere med en køleflade. Med denne løsning reduceres det samlede energiforbrug med ca. 2 % i forhold til referencetilfældet, eller med ca. 5 % i forhold til referencetilfældet suppleret med en køleflade. Til gengæld reduceres andelen af timer i komfortområdet væsentligt.

En tredje mulighed er at erstatte VAV (variable air volume) med CAV (constant air volume) og tilføje køleradiatorer. En overholdelse af anbefalingerne til indeklimaet fører dog til et energiforbrug der er ca. 4 % højere end i referencetilfældet.

Beregninger med reduceret maksimal luftmængde for VAV styringen er kun foretaget på den punktformede bygning.



Figur 16. Ventilationsprincipper: VAV uden køling; VAV med mekanisk køling; CAV med kølebafler.

## Belysning og udstyr

Hovedresultaterne er gengivet i Tabel 14.

Tabel 14. Belysning og udstyr. Hovedresultater.

|   | Stangformet bygning med cellekontorer (N- og S-vendte facader) |                    | Punktformet bygning med sydvendt hjørne |                    | Punktformet bygning med sydvendt facade |                    |
|---|--|--------------------|---|--------------------|---|--------------------|
|   | Timer [%]  | kWh/m <sup>2</sup> | Timer [%]                               | kWh/m <sup>2</sup> | Timer [%]                               | kWh/m <sup>2</sup> |
| Reference <sup>1</sup>                    | 72   | 156                | 80                                      | 142                | 85                                      | 143                |
| Dagslysstyring                            | 73   | 153                | 83                                      | 136                | 85                                      | 141                |
| do. + energibesparende armaturer og pc'er | 79   | 116                |   |                    | 88                                      | 98                 |

Timer: Andel af arbejdstiden på årsbasis med temperaturer mellem 21,5 °C og 24,5 °C

kWh/m<sup>2</sup>: Det samlede årlige energiforbrug til opvarmning, ventilation, belysning og pc-udstyr i kontorområdet.

Et skift til dagslysstyring af almenbelysningen giver en besparelse på 8-10 % på el-forbruget til lys, hvilket fører til en besparelse på det samlede energiforbrug på 2-5 %. Ved samtidig at skifte til energibesparende armaturer og pc-udstyr, opnås en væsentlig større reduktion i energiforbruget (25-30 %), samtidig med at andelen af timer mellem 21,5 °C og 24,5 °C øges henholdsvis fra 72 til 79 % (stangformet bygning med cellekontorer) og fra 85 til 88 % (punktformet bygning). Antallet af timer med over 27 °C reduceres fra 164 timer til 105 timer (stangformet bygning med cellekontorer) og fra 76 timer til 52 timer (punktformet bygning), jf. 'Bilag 1 Prototype, resultater'.

## Persontæthed

Hovedresultaterne er gengivet i Tabel 15. De tilsvarende resultater for referencetilfældet ses i Tabel 5.

Tabel 15. Høj persontæthed. Hovedresultater. I den punktformede bygning er placeret 50 % flere arbejdspladser på samme areal end i referencetilfældet, i den stangformede bygning er regnet med at alle er til stede i hele arbejdstiden, mod 70 % i referencetilfældet.

|                                       | 21,5 °C < temp. < 24,5 °C<br>% af arbejdstid | Energiforbrug<br>kWh/m <sup>2</sup> |
|---------------------------------------|--|-------------------------------------|
| <b>Punktformet bygning</b>            |  |                                     |
| Sydvendt facade                       | 80   | 160                                 |
| <b>Stangformet bygning</b>            |  |                                     |
| cellekontorer, N- og S-vendte facader | 63   | 170                                 |
| storrums, N- og S-vendte facader      | 84   | 165                                 |

Energiforbrug: Det samlede årlige energiforbrug til opvarmning, ventilation, køling, belysning og pc-udstyr i kontorområdet.

I samtlige analyserede bygningsmodeller er der et etageareal på ca. 13 m<sup>2</sup> pr. arbejdsplads inkl. gangareal men ekskl. servicefunktioner. Samtidig er

<sup>1</sup> Ved sammenligning af resultater fra referencetilfældet med varianten med dagslysstyring af kunstlyset fremgik det, at de oprindeligt valgte benyttelsesfaktorer var for optimistiske mht. reduktion af elforbruget til belysning ved manuel styring. Dette forhold har alene betydning for nærværende sammenligning.

der regnet med, at kun 70 % af personerne er til stede på samme tid. Hvis man vælger at placere 50 % flere personer på det samme areal i den punktformede bygning, vil det føre til et 17 % højere energiforbrug pr. m<sup>2</sup> primært pga. et øget energiforbrug til udstyr og arbejdspladsbelysning, samtidig med at indeklimaet bliver forværret og den maksimale luftmængde i VAV anlægget nås i et større antal timer. Regnet i forhold til antal personer reduceres energiforbruget med 20 %.

Ved at øge kapaciteten på ventilationsanlægget således at der opnås et indeklima svarende til referencetilfældet (antal timer over 26 og 27 °C), øges energiforbruget pr. m<sup>2</sup> med 24 %.

På tilsvarende vis øges energiforbruget pr. m<sup>2</sup> med 13 % i cellekontorbygningen, hvis samtidigheden af personer i cellekontorbygningen øges fra 70 % til 100 %. Samtidig forværres indeklimaet markant, udtrykt ved at andelen af timer med temperaturer mellem 21,5 og 24,5 °C reduceres fra 73 % til 63 %, mens antallet af timer på årsbasis med mere end 27 °C øges fra 152 timer til 263 timer.

### **Kombinerede tilfælde**

Af de parametre som er indgået i analysen, er det kun ved at ændre et eller flere af følgende forhold, at der opnås en mærkbar ændring af indeklimaet (temperaturforhold) og det energiforbrug, som opnås i referencetilfældet:

- klimaskærmens udformning,
- størrelsen af vinduesarealet,
- valget af princip for ventilation,
- anvendelsen af energibesparende armaturer og pc-udstyr, samt
- persontætheden.

Det viser betydningen af at indtænke indeklima og energiforbrug tidligt i projekteringen, idet det vil kræve ganske store indgreb, hvis man på et senere tidspunkt vil ændre på disse forhold.

Der er, ud over enkelttilfældene, fortaget en række simuleringer, hvor flere parametre er ændret samtidigt:

- forøget vinduesareal i forhold til referencetilfældet kombineret med solafskærmning,
- dagslysstyring af elektrisk belysning kombineret med solafskærmning,
- dagslysstyring af elektrisk belysning kombineret med energibesparende armaturer og pc'er og solafskærmning eller forøget vinduesareal.
- optimeret mekanisk ventilation, hvor 80 % virkningsgrad på varmegevinning kombineres med en højere energieffektivitet (SEL-værdi) på ventilationsanlægget
- en såkaldt optimeret bygning (punktformet bygning med sydvendt facade): optimeret mekanisk ventilation i arbejdstiden om vinteren, kombineret med dagslysstyring, energibesparende armaturer, samt naturlig ventilation (sommer). Den naturlige ventilation er CO<sub>2</sub>-styret om dagen og temperaturstyret om natten.

Hovedresultaterne er gengivet i Tabel 16 og Tabel 17.

Tabel 16. Kombinerede tilfælde uden dagslysstyring. Hovedresultater.

|   | Stangformet bygning med cellekontorer (N- og S-vendte facader) |                    | Punktformet bygning med sydvendt hjørne |                    | Punktformet bygning med sydvendt facade |                    |
|---|--|--------------------|---|--------------------|---|--------------------|
|   | Timer [%]  | kWh/m <sup>2</sup> | Timer [%]                               | kWh/m <sup>2</sup> | Timer [%]                               | kWh/m <sup>2</sup> |
| Reference   | 73   | 151                | 80                                      | 136                | 85                                      | 137                |
| Vinduesareal optimeret mht. dagslys + solafsk. glas |  |                    | 79                                      | 149                | 82                                      | 149                |
| Fuld glasfacade + solafsk. glas                     | 69   | 158                |   |                    |   |                    |
| Optimeret mekanisk ventilation                      |  |                    |   |                    | 84                                      | 123                |
| Optimeret bygning                                   |  |                    |   |                    | 90                                      | 71                 |

Timer: Andel af arbejdstiden på årsbasis med temperaturer mellem 21,5 °C og 24,5 °C

kWh/m<sup>2</sup>: Det samlede årlige energiforbrug til opvarmning, ventilation, belysning og pc-udstyr i kontorområdet.

Tabel 17. Kombinerede tilfælde med dagslysstyring. Hovedresultater.

|   | Stangformet bygning med cellekontorer (N- og S-vendte facader) |                    | Punktformet bygning med sydvendt facade |                    |
|---|--|--------------------|---|--------------------|
|   | Timer [%]  | kWh/m <sup>2</sup> | Timer [%]                               | kWh/m <sup>2</sup> |
| Reference <sup>2</sup>  | 72   | 156                | 85                                      | 143                |
| Dagslysst. + udv. aut. persienner                                 |  |                    | 86                                      | 136                |
| Dagslysst. + solafsk. glas  | 89   | 154                | 94                                      | 141                |
| Dagslysst. + energibespar. armaturer og pc + udv. aut. persienner |  |                    | 89                                      | 104                |
| Optimeret bygning   |  |                    | 90                                      | 71                 |

Timer: Andel af arbejdstiden på årsbasis med temperaturer mellem 21,5 °C og 24,5 °C

kWh/m<sup>2</sup>: Det samlede årlige energiforbrug til opvarmning, ventilation, belysning og pc-udstyr i kontorområdet.

Optimeret bygning: Dagslysstyring + Energibesparende armaturer og pc'er, kombineret med naturlig ventilation om sommeren og VAV-styret ventilation i arbejdstiden om vinteren. Naturlig ventilation er CO<sub>2</sub>-styret (klasse A) om dagen, og temperaturstyret om natten. VAV er tilnærmet CO<sub>2</sub>-styret. Øvrige forhold er som i referencetilfældet (tung/let bygning, vinduesareal, solafskærmning, opvarmning og persontæthed)

Idet et større vinduesareal fører til at antallet af timer med uønsket høje temperaturer øges voldsomt, er det ikke overraskende, at anvendelsen af solafskærmende glas har en større effekt i disse tilfælde end i referencetilfældet. Ved optimal dagslysadgang i den punktformede bygning er energiforbruget uændret i forhold til tilfældet uden solafskærmende glas, men andelen af timer mellem 21,5 °C og 24,5 °C øges fra 65 % til 82 %. En tilsvarende tendens ses ved anvendelse af fuld glasfacade i cellekontorløsningen.

Effekten af en vandret, fast solafskærmning i forbindelse med et større vinduesareal end referencetilfældets 22 % har kun i begrænset omfang indflydelse på indeklimaet, i begge tilfælde er antallet af timer med temperaturer over 26 og 27 °C langt over de anbefalede grænser.

Både i tilfældet uden dagslysstyring af den elektriske belysning (reference) og i et tilfælde med dagslysstyring vil en anvendelse af solafskærmende glas forbedre indeklimaet betydeligt i såvel i cellekontorbygningen som i den punktformede bygning. I førstnævnte tilfælde sker det dog på bekostning af energiforbruget.

I den punktformede bygning med sydvendt facade opnås samme relative reduktion i energiforbruget (knap 30 %) ved at anvende dagslysstyring og energioptimale armaturer, når vinduesarealet er 22 % (reference) og 38 % (vindue helt til loft og fuld bredde). Samtidig forbedres indeklimaet relativt mere i tilfældet med 38 % vinduesareal, men udgangspunktet er også væsentligt dårligere, jf. afsnittet "Vinduesareal og -placering" ovenfor.

<sup>2</sup> Ved sammenligning af resultater fra referencetilfældet med varianten med dagslysstyring af kunstlyset fremgik det, at de oprindeligt valgte benyttelsesfaktorer var for optimistiske mht. reduktion af elforbruget til belysning ved manuel styring. Dette forhold har alene betydning for nærværende sammenligning (reference vs. tilfælde, der inkluderer dagslysstyring).

Endelig viser simuleringerne, at en optimering af den mekaniske ventilation i sig selv kan give en energibesparelse på ca. 10 %. Kombineres dette med dagslysstyring, energibesparende armaturer og pc'er, samt naturlig ventilation, alle tiltag, der ikke ændrer på den punktformede bygnings udseende, kan opnås en besparelse på energiforbruget på hele 48 %, samtidig med at andelen af timer i komfortintervallet øges fra 85 % til 90 % ('Optimeret bygning').

## Beregning af samlet el-forbrug for kontorbyggeri

Da det kun er en del af elforbruget, der indgår i simuleringerne med BSim, er der foretaget beregninger af det samlede elforbrug i bygningen. Beregningerne er baseret på en metodik, der blev anvendt i det tidligere gennemførte "Best Practice" projekt (Sørensen & Radisch, 2000-2004).

Denne beregning opdeler elforbruget i el til kontorområder (varmebelastning) og i andre områder (køkken, serverrum, kældre m.m.). I beregningen indgår udover de kendte forbrug også tomgangsforbrug, der erfaringsmæssigt kan udgøre op mod 1-2 W/m<sup>2</sup>.

I beregningen opgøres alle kendte forbrug og tomgangstab. Udover elfektforbruget pr. m<sup>2</sup> og pr. arbejdsplads vurderes antallet af driftstimer og benyttelsesfaktorer (sommer hhv. vinter).

Som resultat fremkommer installeret effekt, spidsbelastning, bidrag til varmebelastning i kontorer, nøgletal for elforbrug m.m.

### *"Referencemodel og varianter"*

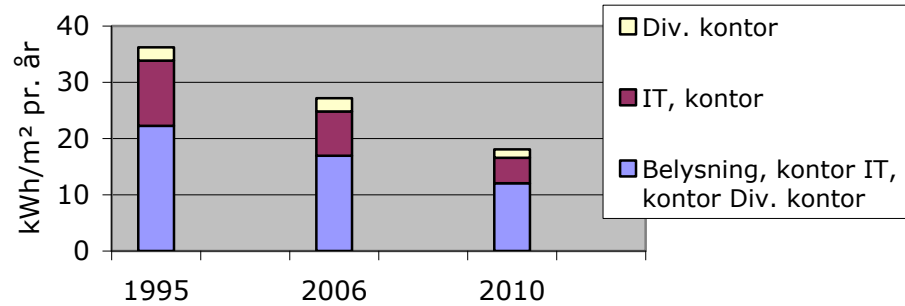
Der er beregnet elforbrug i for 3 forskellige situationer:

- **1995** – illustrerer elforbruget i en kontorbygning opført i henhold til BR95. Her var der krav til eleffektivitet i ventilationsanlæg. For de andre installationer er der antaget værdier, svarende til almindelig praksis omkring 1995. En mindre kraftig udbygning med IT opvejes af lavere effektivitet i systemerne. Der er beregnet et nøgletal på 81 kWh/m<sup>2</sup>/år - heraf 36 kWh/m<sup>2</sup>/år i kontorområderne.
- **2008** – illustrerer elforbruget i en kontorbygning opført i henhold til BR08. Her er skærpede krav til eleffektivitet i ventilationsanlæg og indirekte skærpede krav til belysning, pumper m.m. via energirammeberegningen. Den største forskel er dog, at det antages at man helt er gået over til fladskærme til pc-arbejdspladserne. For de andre installationer er der antaget værdier, svarende til praksis omkring 2008. En større anvendelse af IT opvejes delvis af højere effektivitet i pc'er og serversystemer. Situationen svarer til beregningen foretaget på demonstrationsbyggeriet beskrevet i fase 2. Der er beregnet et nøgletal på 70 kWh/m<sup>2</sup>/år - heraf 27 kWh/m<sup>2</sup>/år i kontorområderne.
- **2012** – illustrerer elforbruget i en fremtidig kontorbygning hvor der er fokus på udnyttelse af el-effektivt udstyr. Der er anvendt effekter svarende til det bedste på markedet i 2008. Det forudsættes også at it-installationerne samlet set har et mindre forbrug på trods af større kapacitet. Der anvendes i et vist omfang led-lys og tomgangsforbrug er reduceret, bl.a. som følge af EU's Eco Direktiv. Elforbrug til køling reduceres både via en mindre varmebelastning og en højere effektivitet i køleanlæggene. Situationen kan ligne en "Best Practice 2008". Der er beregnet et nøgletal på 47 kWh/m<sup>2</sup>/år - heraf 18 kWh/m<sup>2</sup>/år i kontorområderne.

De største elforbrug i 2008-bygningen skyldes:

- almen belysning (ca. 20 %),
- pc'er, printere m.m. (ca. 10 %),
- server inkl. UPS og køling (ca. 20 %),
- svagstrømsanlæg (ca. 20 %).

## Elforbrug i kontorområderne



Figur 17. Ved anvendelse af ny teknik er det muligt at reducere varmebelastningen på grund af elforbrug i kontorområderne. Kølebehovet mindskes derved.

## Elforbrug i nyere energieffektivt byggeri

I projektet ”*Best Practice - elforbrug i energieffektivt kontorbyggeri*” (Sørensen & Radisch, 2000-2004) er energiforbruget i kontorbyggeri blevet undersøgt. Der blev lagt meget vægt på, at tallene skulle være repræsentative for typisk kontorbygger, da det havde vist sig at andre nøgletal i nogle tilfælde medtager bygninger med andre anvendelser. De fleste af bygningerne blev derfor besøgt for at sikre, at de kunne opfattes som værende repræsentative.

- Ifølge denne undersøgelse kan kontorbygninger opdeles i fire klasser:
- **Højt forbrug** – gruppen med det højeste el-forbrug.
  - **Over middeld forbrug** – bygninger med et middel til let forhøjet forbrug.
  - **Lavt middel forbrug** – bygninger med et forbrug under middel, men over den bedste gruppe
  - **God praksis** – de bedste af de undersøgte bygninger, hvor det har vist sig, at der stadig er mulighed for energibesparelser.
  - **Bedste praksis** – bygninger hvor el-forbruget er helt optimeret. Disse bygninger blev ikke fundet i undersøgelsen. Der var i alle undersøgte bygninger muligheder for at reducere energiforbruget.

Tabel 18. Gennemsnitlige elforbrug i de undersøgte bygninger i Best Practice projektet.

|                      | Arealrelateret elforbrug<br>kWh/m <sup>2</sup> | Personrelateret elforbrug<br>kWh/fuldtidsansat |
|----------------------|--|--|
| Højt forbrug         | 156  | 4600   |
| Over middeld forbrug | 88   | 4100   |
| Lavt middel forbrug  | 63   | 2500   |
| God praksis          | 36   | 1700   |

Undersøgelsen viste at det især er tilstedeværelsen af serverrum og, i et mindre omfang, køkkenfunktioner, der kan påvirke elforbruget i negativ retning.

# Beskrivelse af demonstrationsbyggeri

Bygningen er opført i Viby i den sydlige del af Århus på en hjørnegrund ved Skanderborgvej-Grøndalsvej. Hovedfacaden vender ud mod Skanderborgvej (SØ orientering).

Bygningen var oprindeligt planlagt til at rumme ca. 550 ansatte fra Århus Kommunes Skatteforvaltning og kommunens Socialcenter Syd. Bygningen blev taget i brug i efteråret 2005. På grund af kommunalreformen er Børne- og Ungdomsforvaltningen i august 2007 flyttet ind i stedet for Skatteforvaltningen, der er blevet samlet nogle få steder i landet. I dag sidder der ca. det samme antal medarbejdere som oprindeligt planlagt.

Det samlede etageareal er ca. 16.000 m<sup>2</sup> - heraf udgør kælder 2360 m<sup>2</sup> og div. fællesarealer (foyer, kantine m.m.) ca. 1500 m<sup>2</sup>. Bygningen ligger på en skrånende grund og bygningens højde varierer derfor fra 3 til 5 etager. Bygningen består af 2 fløje med kontorer, møderum m.m. placeret på hver side af et indgangsparti med atrium i bygningens fulde højde.

I hver af fløjene er der en central gårdhave, som tillader at lyset trænger ned i midten af bygningen.

Centralt i hver fløj findes funktionsrum med glasvægge til kopi/print, teknik, depoter, arkiv, toiletter, te-køkkener og stille-/møderum.



Figur 18. Hovedfacaden imod Skanderborgvej.



Figur 19. Atriet i bygningens midte er fælles indgang og har udsigt over boldbanerne modsat indgangen.

## Bygningsbeskrivelse

Bygningsreglement BR95 (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2005) var gældende på opførelsestidspunktet, men alligevel er der flere punkter, hvor det færdige byggeri svarer til dagens krav (BR08).

Bygningen og installationer er kort beskrevet nedenfor.

### Klimaskærm

Ydervægge er opbygget af bærende sandwichelementer med 125 mm isolering; U-værdi  $0,29 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Taget er udført som betonhuldæk med 200 mm isolering; U-værdi  $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Terrændæk er udført med 150 mm isolering; U-værdi  $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Vinduer er udført som vandrette glasfacadebånd med oplukkelige vinduer (2-lags energirude + udvendig forsatsrude) – vinduerne, der har en U-værdi på  $1,41 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , er ført til loft. I kantine og atrium er der solafskærmende glas i 2-lags rude; U-værdi  $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Solafskærmning består af et 1,5 m dybt, fast udhæng over vinduerne samt manuelt betjente persienner mellem termoruden og den udvendige forsatsrude.





### *Belysning*

Der er baggrundsbelysning (10 W/m<sup>2</sup>) som tænder rækkevis (fra facaden) styret med bevægelsesmeldere og regulering efter dagslysforholdene.

I toiletter og garderober styres lyset med bevægelsesmeldere og timere. Desuden er der belysning af vej og P-plads foran bygningen.

### *Stikkontakter*

Kontakter til kaffemaskiner, koge kedler og andet udstyr med begrænset brugstid forsynes over timere så unødvendigt elforbrug minimeres.

### *CTS*

Radiatorer, ventilation m.m. styres af et CTS-anlæg. Der er optimal start/stop (variabelt antal minutter før start/stop afhængig af udetemperatur), sommerstop og natkøling.

### *Svagstrømsanlæg*

Der indgår en række svagstrømsanlæg til bl.a. nød- og paniklys, automatisk brandventilation, telefonanlæg, antenneanlæg, teleslynge, overfaldsalarm, videoovervågning, adgangskontrol mv.

## **Bygherreleverancer**

Århus Kommune har en indkøbsfunktion, der indhenter tilbud på forskellige produkter bl.a. computere. Et af kriterierne for udvælgelse er et lavt energiforbrug. I forbindelse med udflytningen til huset blev det fx besluttet, at pc'er maksimalt måtte bruge 80 W pr. stk. og at der generelt skulle være lavenergibelysning i bygningen.

### *Efter indflytning*

Efter indflytningen blev serverinstallationen udvidet og betjener nu også brugere ude i byen. Til gengæld er der andre af husets it-behov, der dækkes af andre servere andre steder i byen. Det vurderes at det, i dette tilfælde, kun har en lille betydning for bygningens energiforbrug (en forøgelse på 1-2 % af bygningens samlede energiforbrug). Ændringerne er gennemført af flere gange.

## **Brugerforhold**

### *Indeklima*

Det termiske indeklima opretholdes uden anvendelse af mekanisk køling. I stedet er der mulighed for at øge ventilationen i dagtimerne og køle bygningen ved forlænget drift af ventilationsanlæggene om natten.

Varmetilskuddet fra solen begrænses af persiener og faste udhæng over vinduerne.

### *Dagslys*

Tilgang af dagslys begrænses af de faste udhæng, men de projekterende har beregnet at der er tilstrækkeligt dagslys i henhold til Arbejdstilsynets bestemmelser om en dagsfaktor på 2 % på arbejdspladsen.

Der har været problemer med at styre almenbelysningen efter dagslysforholdene og denne funktion er derfor sat ud af drift.

### *Lydforhold*

Der er nedhængte lofter med lyddæmpende indlæg for at sikre gode lydforhold. Dette har den effekt at lofternes beton ikke er blotlagt og dermed kun vanskeligt kan deltage i udligningen af indetemperaturen i løbet af et døgn.

## Fleksibilitet

Det vindende arkitektprojekt anfører at ideen bag deres forslag bl.a. er ”at skabe et fleksibelt hus, der sikrer et velfungerende hus over tid” - ”... med et arbejdsforum... blandt de bedste arbejdsmiljøer i Danmark”

Bygningen huser 3 forvaltninger, som har fælles faciliteter og hver bruger kan i øvrigt indrette celle- og storrumskontorer efter behov. Efterfølgende ændringer kan gennemføres uden at påvirke energiforbruget og indeklimaet. Fleksibiliteten giver sig bl.a. udtryk i:

- Huset har et fælles indgangsparti med atrium som gør det nemmere at udvide eller begrænse antallet brugere af bygningen.
- Der er fælles kantine som giver let adgang for nye brugere til at etablere sig i huset.
- Etagerne er åbne med få faste kerner (toiletter, trapper m.m.) og de fleste kontorer er disponeret iht. ”New Office” princippet dvs. med kontorlandskaber og flytbare arbejdspladser. I dele af bygningen er der cellekontorer, men bygningen er generelt forberedt for ændring af kontortypen.
- Installationer er generelt modulopdelte, så det er muligt at opstille skillevægge. Varmeanlægget er fx zoneopdelt med radiatorer ved vinduesbrystningerne i hvert facademodul á 3 meter.
- Ventilationsanlæggene er dimensionerede, så det er muligt at øge luftmængderne med 25 %. Anlæggene er VAV-anlæg, styret af rumtemperaturen og CO<sub>2</sub>-niveauet. Ved at lægge anlægget ud for en luftstrøm mindst på 1000 m<sup>3</sup>/time i de yderste ender er der mulighed for at flytte belastningen rundt i huset eller tilslutte ekstra ventilation.
- Huset er udført, så der ikke er behov for mekanisk køling. Senere ændringer, bl.a. ved indretning af cellekontorer, er dermed ikke afhængig af køleinstallationer.
- De fleste arbejdspladser er i storrumskontorer, der er mindre følsomme for koncentrerede varmebelastninger. I cellekontorer er der mindre muligheder for at koncentrerede varmebelastninger kan udjævnes.
- Der er bimålere (varme, vand og el) på alle større forbrug – ventilation, server og kantine samt forbruget i kontorområderne. I kontorområderne sektionsopeles elforsyningen og der måles på hhv. edb., lys og almindelige stikkontakter m.m. På en normaletage er der 8 el målere - fire for på hver sin side af atriet i midten.

Fleksibiliteten havde høj prioritet under projekteringen. I løbet af det første år (forprojekt, hovedprojekt, start på byggeplads) skete der imidlertid en forskydning fra storrumskontorer til cellekontorer. Dette har medført større arealbehov, da storrumskontorenes stillerum m.m. ikke er inddraget som cellekontorer. Nogle af de nye cellekontorer er derfor indrettet i dele af den ”høje kælder”.

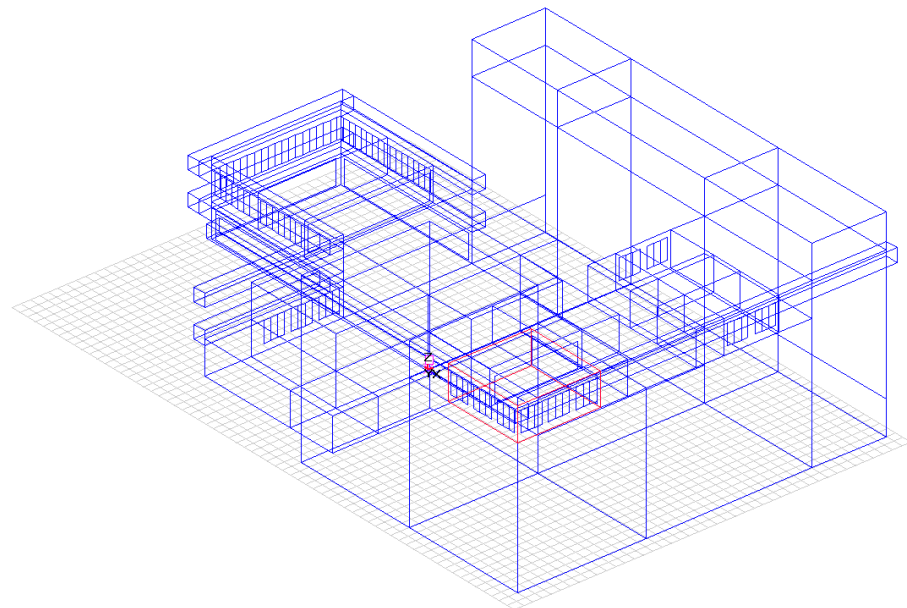
# Analyse af demonstrationsbyggeri

I dette kapitel beskrives de analyser af indeklimate og energiforbrug, som er udført på udvalgte dele af demonstrationsbyggeriet.

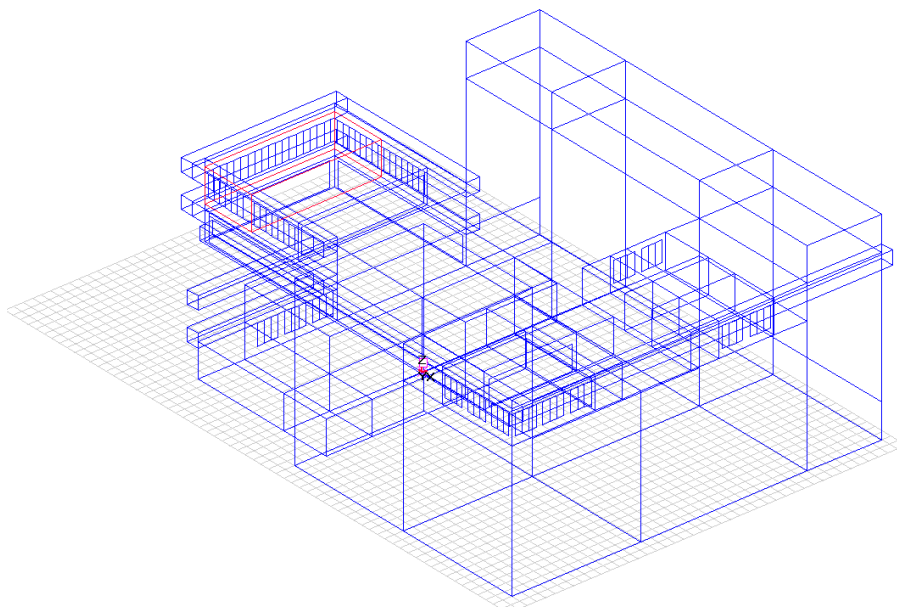
## Opbygning af bygningsmodel for kontorområder

Analyserne af indeklimate og energiforbrug er foretaget vha. BSim på grundlag af en 3D-model af bygningen leveret af rådgiveren. Benævnelser af de analyserede områder af bygningen er baseret på, hvilke dele af kommunens forvaltning bygningen oprindeligt var projekteret til.

I de udførte analyser er fokuseret på det sydvendte hjørne af skatteforvaltningen på øverste etage (benævnt 'HSV'). Vinduerne er orienteret henholdsvis mod sydøst og sydvest. Der er desuden foretaget enkelte analyser af rummene i det yderste fag af den vestvendte fløj over kantinen, hvor specialrådgivningen for voksne med handicap er placeret (benævnt 'SR Ydre'). Disse to områder af bygningen er valgt, da de skønnes at repræsentere hårdt belastede zoner mht. høje temperaturer om sommeren. De to områder er fremhævet med rødt på skitserne i figur 21 og figur 22



Figur 21. BSim-model af demonstrationsbyggeriet i Viby set fra syd. Relevante dele af den aktuelle etage er tydeliggjort med vinduesåbninger og solafskærmninger. Det sydvendte hjørne af skatteforvaltningen, benævnt 'HSV' i rapporten, er fremhævet med rødt.



Figur 22. BSim-model af demonstrationsbyggeriet i Viby set fra syd. Den vestvendte fløj ovenpå kantinens, hvor specialrådgivningen for voksne med handicap skulle placeres, benævnt 'SR Ydre' i rapporten, er fremhævet med rødt.

Analyserne er dels gået på temperaturforholdene i arbejdstiden, dvs. mandag til fredag mellem kl. 8 og kl. 17, dels på energiforbrug til drift af ventilatorer ved forskellige løsningsmodeller. Det er udelukkende sommermånedene, dvs. juni, juli og august, der er analyseret. Det er i denne periode at de værste problemer med for høje temperaturer forventes.

Der er med få undtagelser ikke foretaget ændringer af de belastninger mht. antal personer, belysning og pc-udstyr som modellen var "født" med fra rådgiverens side:

- 8-9 m<sup>2</sup> pr. person
- almen belysning 10 W/m<sup>2</sup> (netto)
- arbejdspladsbelysning 8-10 W pr. arbejdsplads
- 80 W pr. pc inkl. skærm.

I et konkret tilfælde er betydningen af at reducere effekten af den almene belysning med 50 % undersøgt (benævnt '50% Lys'), ligesom det er undersøgt, hvilken betydning det har for temperaturforholdene at regne med en 50 % mindre belastning fra pc'er ('50% PC'). Det vurderes ikke at være muligt at reducere belastningen fra arbejdspladsbelysningen på nuværende tidspunkt. Der er ikke regnet med standby forbrug på lys og pc'er.

Mekanisk køling indgår ikke i det aktuelle byggeri og er derfor ikke en del af analyserne.

### Formål med de udførte analyser

Hvad angår temperaturforhold ønsker man at holde antallet af timer i arbejdstiden med temperatur højere end 26 hhv. 27 °C under henholdsvis 100 timer og 25 timer jf. anbefalingerne i DS 474. Da analyserne er sket under sommerforhold (juni, juli, august), ønskes det at temperaturen i så mange timer som muligt er mellem 23 og 26 °C (operativ sommertemperatur) samt at antallet af timer med indetemperature lavere end 21 °C minimeres.

Hvad angår energiforbruget tilstræbes så lavt et forbrug til ventilation som muligt.

## Udførte analyser – oversigt

Tabel 31, 'Bilag 3 Demonstrationsbyggeri, udførte simuleringer med BSim', giver en oversigt over de væsentligste analyser, som er foretaget i denne fase, samt de anvendte forkortelser.

### Reference

'Reference' svarer til den af rådgiveren opbyggede model med enkelte mindre justeringer.

For 'SR Ydre' er der tilføjet luftudveksling ('Mixing') med nabozonen (se 'Andre forhold' nedenfor).

I arbejdstiden (ma-fr kl. 08 til 17) benyttes mekanisk ventilation med et minimalt luftskifte på 7 l/s pr. person og en VAV-faktor på 4, hvilket betyder, at ventilationen sker ved at blæse en forholdsvis stor mængde ikke afkølet luft gennem lokalerne. Analyserne inkluderer ikke andre måder at ventilere på i arbejdstiden, jf. ønsket om at undgå mekanisk køling. Der opereres ikke med (manuel) udluftning via vinduer o.l. i referencetilfældet.

### Natkøling

Uden for arbejdstiden køles bygningen via mekanisk ventilation med et luftskifte svarende til det maksimale luftskifte i arbejdstiden og et sætpunkt på 20 °C. For at undgå at natkølingen aktiveres og de-aktiveres kontinuerligt stilles der samtidig krav til, hvor koldt/varmt der skal være før natkølingen aktiveres.

I det aktuelle tilfælde skal der være mindst 2 °C varmere i rummet end sætpunktet for start af natkølingen og samtidig mindst 2 °C varmere end udeluften før natkølingen aktiveres. Modellen er "født" med natkøling med 20 °C som sætpunkt. Der er ligeledes udført beregninger med et sætpunkt på 19 °C (benævnt 'NC 19'). I det aktuelle tilfælde skal der derfor være henholdsvis mindst 21 °C i rummet ('NC 19') og 22 °C i rummet ('Reference') og mindst 2 °C koldere udendørs før natkølingen aktiveres.

### Udluftning

BSim giver mulighed for at indregne udluftning ved betjening af vinduer o.l., der åbnes (manuelt), for at opretholde en ønsket indetemperatur. Der angives et maksimalt luftskifte som ikke kan overskrides, hvilket betyder, at man kun kan opnå den ønskede indetemperatur hvis det kan ske med det fastsatte maksimale luftskifte. Alternativt må man acceptere et højere luftskifte med deraf følgende risiko for træk.

I dette projekt er simuleret tilfælde, hvor udluftning anvendes til at opretholde en indetemperatur på henholdsvis 24 °C ('Ve24') og 22 °C ('Ve22'), samt kombinationer med natkøling til 19 °C ('NC 19 Ve22' og 'NC 19 Ve24').

### Reducere eller fjerne bygningens faste udhæng

Effekten af henholdsvis at reducere udhænget på den aktuelle bygning til 0,75 m ('Udhæng 0,75'), svarende til en halvering, og helt at fjerne udhænget ('Ingen Udhæng') for at forbedre dagslysforholdene er undersøgt.

Derefter er der med udgangspunkt i situationen uden udhæng set på effekten af:

- at erstatte manuelt betjente persienner (afskærmningsfaktor 0,4) med automatisk styret udvendig solafskærmning (afskærmningsfaktor 0,2), således at solindfaldet halveres ('UdvAfsk'),
- at regne med at 40 % af betondækket er frilagt og derved kan udnyttes til temperaturudjævning ('40% Varmeakk'),
- at reducere loftsbelysningen til det halve ('50% Lys'),
- at reducere varmeafgivelsen fra pc'er til det halve ('50% PC'),
- samt kombinationer af disse, jf. Tabel 31, 'Bilag 3 Demonstrationsbyggeri, udførte simuleringer med BSim'.

Ligeledes er de pågældende løsninger kombineret med en løsning hvor sætpunktet for natkølingen sænkes fra 20 °C i referencetilfældet til 19 °C ('NC 19') og evt. udluftning med et sætpunkt på 22 °C eller 24 °C ('Ve22', 'Ve24').

## Andre forhold

Infiltrationen, dvs. utilsigtet eller ukontrolleret tilførsel af udeluft gennem bygningens klimaskærm, er som udgangspunkt sat til 0,2 h<sup>-1</sup>. Det er undersøgt, hvilken betydning det har at regne med den halve infiltration ('50% Inf').

Alle analyser i 'SR Ydre' er udført med luftudveksling ('Mixing') med nabozonen. Luftudvekslingen er sat til 0,02 m<sup>3</sup>/s. Det er nødvendigt at regne med luftudveksling med nabozonen, fordi denne i sig selv er defineret som en termisk zone, uafhængig af 'SR Ydre' og dermed har afvigende indeklimaforhold.

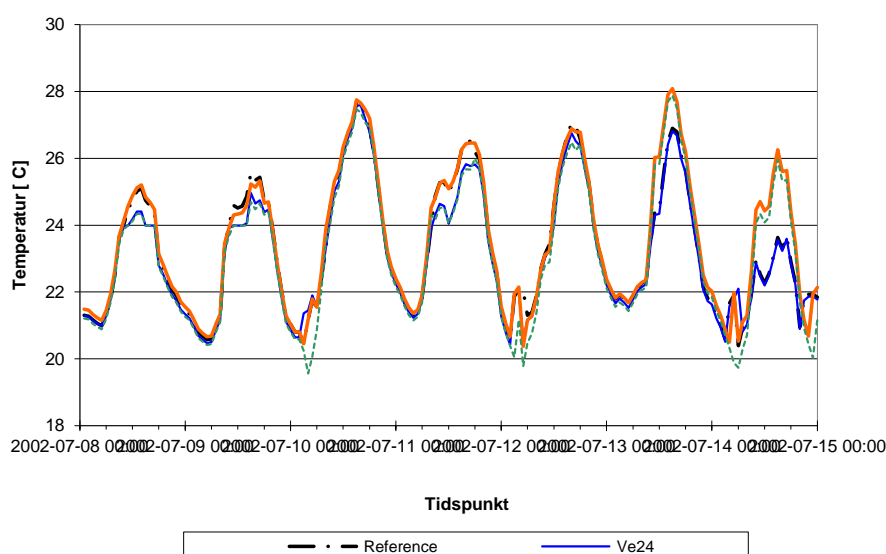
Hvad angår 'HSV' er nabozonerne ikke defineret som en selvstændig termisk zone, men følger blot 'HSV' mht. indeklima. En luftudveksling med disse rum vil derfor ikke bidrage til køling af 'HSV', og 'Mixing' benyttes derfor ikke ved analyser af 'HSV'.

## Resultater af simuleringer

Tabel 32 og Tabel 33 i 'Bilag 4 Demonstrationsbyggeri, resultater' giver en oversigt over resultaterne for hver af de to zoner, 'HSV' og 'SR Ydre'.

De forskellige løsninger er vurderet ud fra antallet af timer med temperatur højere end henholdsvis 26 og 27 °C samt energiforbruget til ventilation. For 'HSV' er løsningerne desuden vurderet ud fra hvor mange procent af arbejdstiden temperaturen er mellem 23 og 26 °C. Endelig angives for 'HSV' det absolutte antal timer med en temperatur over 24°C, da denne størrelse i flere tilfælde har vist sig at være mere følsom end antallet af timer med inde-temperaturer højere end henholdsvis 26 og 27 °C.

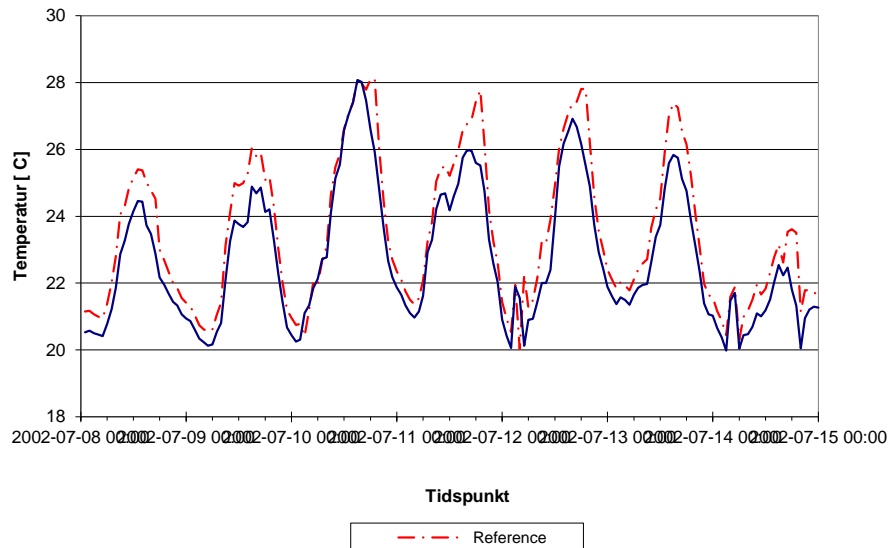
Figur 23 og figur 24 viser temperaturforholdene i en varm sommeruge for udvalgte løsninger i 'HSV' og 'SR Ydre'. Bemærk at kurverne inkluderer samtlige døgnets timer, mens Tabel 32 og Tabel 33 kun inkluderer arbejdstiden.



Figur 23. Temperaturforhold i 'HSV' i uge 28 (8.-14. juli) ved forskellige løsningsmodeller. 8. juli er en mandag. Uge 28 repræsenterer en varm sommeruge. 'Reference' betegner referencen. 'Ve24' betegner et tilfælde med manuel udluftning, hvis temperaturen når over 24 °C. I 'Udv Afsk' er udhænget og persienner indbygget i vinduet erstattet af en udvendig, fast solafskærmning. I 'Udv Afsk NC19 Ve24' kombineres de to sidstnævnte tilfælde med den situation, hvor temperaturen om natten sænkes til 19 °C i stedet for 20 °C.

Figur 23 viser bl.a. betydningen af at fjerne udhænget og de indbyggede persienner og i stedet tilføje en udvendig solafskærmning ('Udv Afsk'), sammenholdt med udgangssituationen ('Reference'). Desuden vises tilfældet med udluftning ved 24 °C ('Ve24') samt en kombineret løsning, hvor 'UdvAfsk' er kombineret med udluftning til 24 °C og natkøling til 19 °C ('UdvAfsk NC19 Ve24').

Figur 24 refererer til analyserne på 'SR Ydre' og viser betydningen af at tilføje udluftning med 22 °C som sætpunkt ('Ve 22') i forhold til referencetilfældet ('Ref'). Betydningen af at fjerne udhænget og anvende en mere effektiv solafskærmning e.l. er ikke undersøgt.



Figur 24. Temperaturforhold i 'SR Ydre' i uge 28 (8.-14. juli) ved forskellige løsningsmodeller. 8. juli er en mandag. Uge 28 repræsenterer en varm sommeruge.

## Diskussion, simuleringer

### Antal timer med temperatur under 21°C

Uanset hvilken af de valgte løsninger der vælges, viser analyserne, at der ikke synes at være problemer i de undersøgte zoner med temperaturer under 21 °C i arbejdstiden.

### Effekt af udluftning

Antallet af timer med temperaturer over 26 °C i HSV reduceres væsentligt, hvis muligheden for at benytte udluftningen via vinduer til at regulere temperaturforholdene udnyttes ('Ve22', 'Ve24'). Samtidig reduceres energiforbruget til ventilation. Der skal udluftes svarende til at der styres efter en temperatur på 24 °C ('Ve24') eller lavere før det har effekt på indetemperaturen.

Styres der i stedet efter en lavere temperatur end 24 °C (23, 22 eller 21 °C), har det i det aktuelle tilfælde ikke nogen betydning for antallet af timer med temperaturer over 26 °C. Antallet af timer i sommerkomfortområdet (23 °C til 26 °C) vil dog reduceres fra ca. 65 % til 39 %, hvis der styres efter 22 °C eller lavere<sup>3</sup>. Man må derfor forvente, at mange vil opleve temperaturen som for lav i sommerperioden, hvis der styres efter et sætpunkt på 22 °C eller lavere.

### Effekt af natkøling

Det har som ventet en effekt på antallet af timer med høje indetemperaturer at sænke sætpunktet for natkøling fra 20 °C til 19 °C, men det sker på be-

<sup>3</sup> Kun resultatet for 22 °C er vist i Tabel 21.



kostning af et øget energiforbrug til ventilation samt lidt flere tilfælde med temperaturer i intervallet mellem 21 og 22 °C om morgenen.

Kombineres natkøling med udluftning kan især antallet af timer med temperaturer over 26 °C reduceres yderligere.

### **Effekt af reduceret infiltration**

Det er uden væsentlig betydning for temperaturforhold og energiforbrug til ventilation i HSV om der regnes med en infiltration på 0,2 h<sup>-1</sup> (som i referencetilfældet) eller på 0,1 h<sup>-1</sup>.

### **Kompensation for et ændret udhæng**

Hvis udhænget i HSV reduceres med 0,75 m (halv dybde) eller helt fjernes, er det nødvendigt at kompensere for det øgede varmetilskud fra solindfald for at overholde anbefalingerne til antal timer med temperaturer over 26 hhv. 27 °C.

Af de analyserede løsninger: en udvendig solafskærmning, varmeakkumulering i betondækket, eller at halvere belastningen fra henholdsvis loftslys og pc'er, er solafskærmningen den mest effektive, og den eneste der sikrer, at anbefalingerne mht. antal timer over 26 og 27 °C kan overholdes.

En rude med solafskærmende glas vil ikke kun reducere varmetilskuddet om sommeren, hvor overtemperaturer kan være et problem, men også om vinteren hvor der er opvarmningsbehov. Desuden vil en solafskærmende rudedtype reducere tilgangen af dagslys hele året i forhold til en udvendig, regulerbar solafskærmning, og vil derfor ofte være en dårlig/uheldig løsning. Af de øvrige løsninger er varmeakkumulering mere effektiv end en reduceret effekt fra loftslys eller pc'er – sikkert fordi disse i forvejen har en lav varmeafgivelse.

Kombinationerne af en løsning med udvendig solafskærmning og varmeakkumulering samt evt. natkøling til 19 °C og udluftning til 22 °C eller 24 °C viser at antallet af timer med mere end 27 °C kan reduceres fra 20 til mellem 10 og 16 timer, mens antallet af timer med temperaturer over 26 °C kan reduceres fra 55 til mellem 25 og 46 timer. Det modsvares dog af et øget energiforbrug til ventilation på op til 15 % afhængig af den valgte løsning. I forhold til løsningen med udvendig solafskærmning og varmeakkumulering har det ingen effekt at halvere belastningen fra loftslyset, hverken når man ser på indeklimaet eller energiforbruget til ventilatorer.

## **Konklusioner, simuleringer**

Der er muligt at optimere bygningen yderligere i forhold til bygningens kølebehov ved udnyttelse af passive løsninger som fx bygningens termiske masse samt muligheden for naturlig ventilation i kombination med mekanisk ventilation om sommeren. Udnyttelse af yderligere køling af bygningens masse med kølig natteluft ved hjælp af det mekaniske ventilationsanlæg skal overvejes nøje inden en beslutning om denne løsning tages idet der er risiko for (for) lave temperaturer om morgenen samt at denne løsning medfører et forøget elforbrug til ventilation samtidig med at virkningen er relativt lille.

### **Sydvendt hjørne af åbent kontorlandskab (HSV)**

I situationen med det oprindeligt valgte udhæng, vil referencetilfældet opfylde anbefalingerne til antal timer med temperaturer over henholdsvis 26 og 27 °C. Ved at regne med udluftning vha. åbningen af vinduer o.l. svarende til at der styres efter en indetemperatur på 24 °C, kan der dog opnås en forbedring af temperaturforholdene om sommeren uden at det påvirker energiforbruget til ventilation.

Ved udluftning med 22 °C som sætpunkt, vil andelen af timer mellem 23 og 26 °C (operative sommertemperaturer) reduceres markant.

Natkøling med 19 °C som sætpunkt i stedet for 20 °C vil reducere antallet af timer med temperaturer over 27 °C fra 25 til 17 timer, men øger samtidig energiforbruget til ventilation med mere end 10 % i forhold til referencetilfældet.

I tilfældet hvor udhænget er fjernet, vil en udvendig solafskærmning med en afskærmningsfaktor på 0,2 (svarende til et halveret solindfald i forhold til referencetilfældet) sikre passende temperaturforhold i henhold til DS 474. Ved at fjerne udhænget reduceres opvarmningsbehovet med ca. 5 %. Andre løsningsmuligheder i form af varmeakkumulering, reduceret loftsbelysning mv. vil ikke have samme effekt. En kombination af udvendig solafskærmning med varmeakkumulering, natkøling til 19 °C i stedet for 20 °C og evt. udluftning, vil ganske vist reducere antallet af timer med høje temperaturer, men samtidig øge energiforbruget til ventilation.

### **Vestvendt kontorområde placeret ovenpå kantine (SR Ydre)**

Ved at tilføje udluftning med 22 °C som styrende temperatur til referencesituationen, vil anbefalingerne mht. antal timer med temperaturer over henholdsvis 26 og 27 °C kunne overholdes. Det forventes, at temperaturforholdene i 'SR Ydre' vil forbedres ved at benytte en større luftudveksling med nabozonen; se afsnittet 'Forslag til yderligere analyser' herunder.

## **Forslag til yderligere analyser**

På baggrund af ovennævnte analyser gives nedenfor et par forslag til yderligere analyser.

### **Kraftigere natkøling suppleret med kortvarig opvarmning**

Som nævnt kører natkølingen lige til arbejdstiden starter kl.8. En anden løsning kunne være at køre med kraftigere natsænkning end til 19°C mod til gengæld at sende varme gennem bygningen i en kort periode ved arbejdstidens begyndelse, hvor luften varmes op, mens bygningen stadig er kold. Den forholdsvis kolde bygning forventes at kunne sikre mod at temperaturen indendørs bliver uønsket høj i løbet af dagen. Denne effekt skal holdes op mod energiforbruget til køling og opvarmning.

### **CO<sub>2</sub> regulering og andre forhold om vinteren**

CO<sub>2</sub> regulering var ikke implementeret i BSim, da denne del af projektet blev gennemført.

### **Mixing mellem SR Ydre og nabozone**

I de indledende analyser af 'SR Ydre' er regnet med en forholdsvis lille luftudskiftning (0,02 m<sup>3</sup>/s) mellem denne zone og nabozonen, men da der er åbent i hele bygningens bredde mellem de to zoner vil man forvente at luftudskiftningen er større og at temperaturforholdene i yderzonen dermed forbedres. Betydningen af dette bør derfor analyseres.

### **SR Ydre uden udhæng**

'SR Ydre' er indtil videre ikke analyseret uden udhæng. Denne situation vil være naturlig at analysere i relation til resultaterne for 'HSV' under samme forhold.

### **Andre rum / zoner der bør analyseres**

På sydøstfacaden bør rummet benævnt 'ISV Facade' undersøges under sommerforhold. Ligeledes bør indeklimaet i atriet med tilhørende glasbure undersøges for året som helhed.

Møderummet benævnt 'P1/E9.a' som har en stor belastning fra udstyr men ingen tilgang af dagslys, kunne også være interessant at undersøge,

uanset at (fra)valget af udhæng ikke har nogen betydning for forholdene i dette rum.

Som eksempel på mindre, selvstændige rum bør 'P1 F37A' og 'P1/ H36A' undersøges under sommerforhold som supplement til 'ISV Facade'. De ligger begge i byggeriets nordøstlige fløj henholdsvis med vindue mod sydøst og inde i bygningen uden vinduer.

En indeklimarapport udarbejdet i forbindelse med byggeriets projektering (Carl Bro, 2004) nævner også møderum 'P2/E22A' der har vinduer mod nordøst, men ligger under atriets niveau, samt 'sprvmh mellem' (nabozonen til 'SR Ydre') som mulige problematiske områder.

## Vurdering af energiforbrug uden for kontorområder

### Køling af serverrum

Der er ofte overvejelser om, hvordan man mest effektivt køler serverrummene. Fra den "traditionelle" måde, hvor et kompressorkøleanlæg smider varmen væk over taget i tørkølere – til at udnytte de lave udetemperaturer til "frikøling". Endeligt kan varmen genvindes til brug i bygningens varmeanlæg.

Hvad der bedst kan betale sig kommer an på energipriserne og om fokus er på minimering af anlægsudgifterne.

Demonstrationsbyggeriet i Århus indeholdt en løsning med frikøling. Der er i PSO projektet foretaget en sammenligning af denne løsning med en løsning med varmegenvinding:

Der er forudsat:

- Varmepris           0,37 kr./kWh
- Elpris               1,22 kr./kWh
- COP, køling       2,5
- Frikøling       5000 timer (COP 11)

Med disse forudsætninger vil der være en lille driftsøkonomisk fordel for varmegenvinding.

Ud fra en CO<sub>2</sub>-mæssig vurdering vil frikøling dog være at foretrække i den aktuelle situation. I mange fjernvarmeområder – herunder Århus – bør køle-/varmegenvindingsanlæggets COP ligge på mindst 3-3,5 (efterfølgende målinger på anlægget har vist værdier omkring dette niveau). En højere COP vil give en forbedret økonomi i løsningen med varmegenvinding.

### Central eller decentral brugsvandsinstallation

I større byggerier, som demonstrationsprojektet, kan det overvejes om der skal være en central eller decentral forsyning af varmt brugsvand. Ved en central løsning vil der ligge relativt store tab i brugsvandscirkulationen. I en decentral løsning derimod vil der være tab fra forsyningen til de decentrale beholdere/tappedsteder. Hvis andre installationer forsynes ved høj fremløbs-temperatur kan man i fyringssæsonen delvis se bort fra dette tab.

Demonstrationsbyggeriet i Århus indeholdt en løsning med decentrale beholdere. Der er i projektet foretaget en sammenligning af denne løsning med en løsning med en central beholder.

Der er forudsat 10 decentrale beholdere inkl. cirkulationspumper og rør til varmt brugsvand, inkl. cirkulation. Varmetabet fra forsyning til beholdere er tillagt de decentrale beholdere og det er forudsat, at der er direkte fjernvarme til beholderne (dvs. ingen pumpeudgift).

Med disse forudsætninger vil der være en lille driftsøkonomisk fordel for en central beholder. Varmetabet er reduceret med ca. 20 % og elforbruget til cirkulation er halveret. Der er ikke set på anlægsøkonomi.

# Målinger i demonstrationsbyggeri

Efter at byggeriet i efteråret 2005 er taget i brug er der målt energiforbrug, vand, indeklima og foretaget interviews frem til efteråret 2008. Den planlagte måleperiode er således forlænget, hvilket skyldes forhold som forsinket indflytning pga. vandskader, længerevarende indreguleringsperiode, personalemæssige omrokeringer og ændringer af funktioner (bl.a. overflytning af Skat til Staten).

## Forbrugsmålinger

Bygningen har været meget velegnet som case i projektet – især på el-siden er den velforsynet med bimålere – og understøtter således kravet om fleksibilitet i forhold til ændret brug af bygningen.

### El

Der er installeret bimålere (i alt 46 stk.) i hovedtavle for alle anlægstavler:

- køleunit 1-3
- elevator 1 – 2
- ventilation VE 01 - VE 05
- diverse automatik for varmeanlæg m.m.
- lys på gang, trappe og atrium

samt decentrale gruppetavler (GT) for kontorområderne

- edb (speciel edb forsyning for pc'er m.m.) i kontorer – 4 målere pr. etage
- almindeligt forbrug (lys og alm. stikkontakter) i kontorer – 4 målere pr etage

De målinger, der er anvendt i undersøgelsen, stammer hovedsageligt fra perioden efter sep. 2007, hvor der har været en uændret bemanning i bygningen. Målingerne er beskrevet mere indgående i Bilag 4 Demonstrationsbyggeri, resultater.

### *Ændringer i funktioner og medarbejderantal*

Blandt andet på grund af centraliseringen af Skat blev anvendelsen af bygningen ændret kort tid efter indflytningen. Fra starten af 2007 skete der en udflytning, der resulterede i at antal personer, der arbejdede i bygningen gik fra 510 til 350 (marts 2007) og ned til 160 (delvis pga. sommerferie) midt på sommeren 2007.

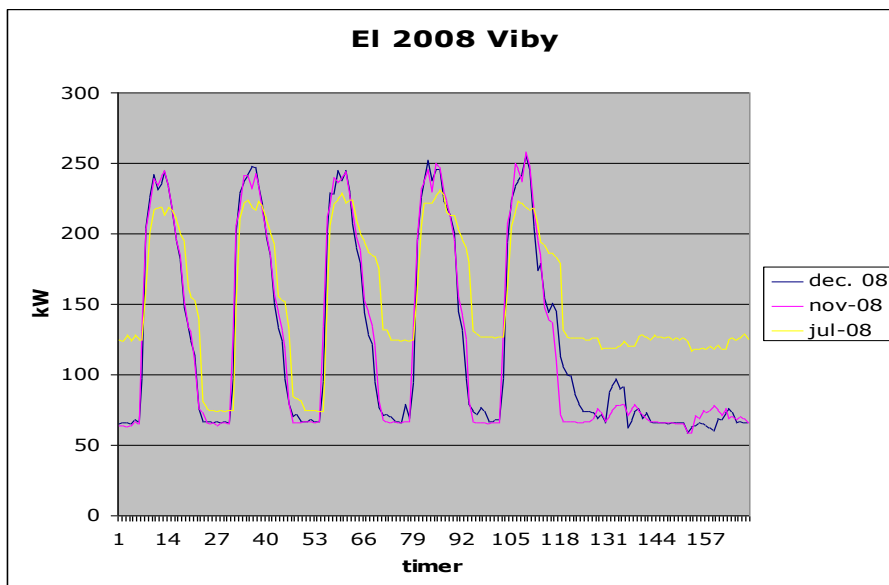
Herefter flyttede det nye personale ind og i september 2007 var huset igen fyldt op med nu i alt 560 personer. Perioden indtil da viser at anvendelse og antal medarbejde ikke påvirker forbruget af el markant.

### *Hovedmåler, el*

Forbruget ligger på ca. 1100 MWh el pr. år svarende til 73 kWh/m<sup>2</sup> (inkl. kælder).

Kommunen genererer histogrammer pr måned og år. Disse stilles op, så de kan sammenlignes med tidligere perioders forbrug. Disse tal svarer til hovedmåleren.

I udvalgte perioder 2006-08 er der med bistand af elforsyningen logget elforbrug på hovedmåleren.



Figur 25. Eleffekt logget pr time i 3 forskellige uger i 2008 – sommer, efterår og vinter

Det fremgår at der i juli har været konstant drift på nogle af installationerne i start og slut af perioden. Max. forbruget (PAF) er reduceret ca. 10 % pga. ferie.

Bygningens tomgangsforbrug ligger på ca. 70 kW - svarende til 4-5 W/m<sup>2</sup>. Det maksimale forbrug er ca. 250 kW - svarende til ca. 17 W/m<sup>2</sup>. Øjebliksværdier vil ligge en smule højere, men ud fra bygningens størrelse vurderes det, at dette tillæg vil udgøre nogle få procent.

I juli 2007 var der det laveste antal medarbejdere (30 % af max.) i bygningen siden ibrugtagningen, hvilket dog kun påvirker forbruget i begrænset omfang (90 % af max).

#### *Afvielser mellem hovedmåler og bimålere*

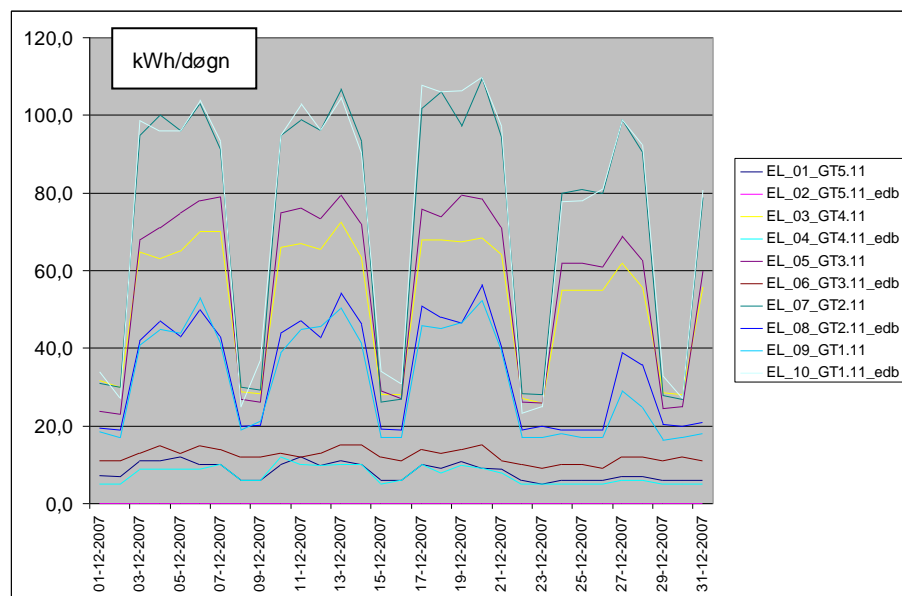
Der er i perioden 2006.02.15 – 2008.11.10 registreret døgnforbrug på alle bimålerne. Ved en sammenlægning af tallene fås dog ikke samme forbrug, som er registreret på hovedmåleren. En sammentælling af bimålere den 7. til 8. september viser et forbrug på 712 MWh, hvor hovedmåleren viser 1165 MWh.

Dette kan bl.a. forklares (se mere detaljeret forklaring i 'Bilag 7 Målinger i demonstrationsbygning') ved: 5 bimålere har intet forbrug, elevatorer og køkken/kantine har et urealistisk lavt forbrug, målere på serverrum registreres ikke på CTS, der måles ikke elforbrug på brandventilation, lyn- og transientbeskyttelse og sprinkleranlæg. Derudover har der været problemer med dataopsamlingen i perioder.

I alt mangler der bimåling af omkring 200 MWh/år (ca. 18 %), når der kompenseres for servere og udfald på målerregistrering.

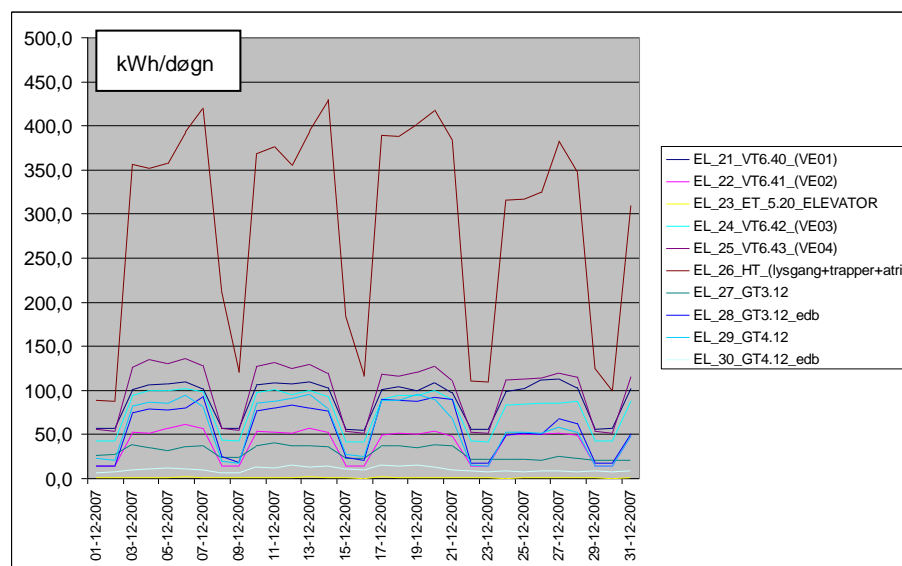
#### *Forbrugsmønster*

Elforbruget i december 2007 er blevet detaljeret analyseret. Månedens indeholder i den første halvdel en meget arbejdsintensiv periode (normalt afholder meget få ferie i denne periode). Registreringerne viser at den arbejdsintensive periode går helt frem til fredag den 21, hvor juleferien startede for de fleste. Ud af de mange målere i kontorerne – 8 pr. etage – viser de fleste meget varierende forbrug, mens en mindre del har et lavt, men meget konstant forbrug.



Figur 26. December 2007, elforbrug i en del af kontorområderne – der ses samme mønster i de andre områder.

Imidlertid er forbrugsmønstret ikke så påvirket af juleferien, som man kunne forvente. Det ser ud til at weekendstyringen fra CTS-anlægget kun gælder lørdag-søndag, selvom der er ferielukket og anlægget fortsætter med hverdagsstyring i juledagene.



Figur 27. December 2007, elforbrug til ventilation, elevator, lys og samt i enkelte kontorområder (måler EL 27-30).

#### Ventilation i kontorområder

På de 4 anlæg (måler EL 21, 22, 24, 25) til kontorområderne er elforbruget:

- VE01, syd – mod Skanderborgvej/Grøndalsvej (måler 21) – ca. 110 kWh pr. hverdagsdøgn og ca. 55 kWh/døgn i weekends
- VE02, vest – kantinesiden, mod Grøndalsvej/Travbanen (måler 22) – ca. 57 kWh pr. hverdagsdøgn og ca. 23 kWh/døgn i weekends
- VE03, nord – mod Travbane (måler 24) – ca. 100 kWh pr. hverdagsdøgn og ca. 43 kWh/døgn i weekends
- VE04, øst – mod Skanderborgvej (måler 25) - ca. 135 kWh pr. hverdagsdøgn og ca. 55 kWh/døgn i weekends

Der køres ifølge målingerne med 60-70 % af det normale luftskifte uden for arbejdstiden i december.

Elforbruget til ventilation varierer fra ca. 12.500 kWh i januar til ca. 15.000 kWh i juli. I betragtning af, at der er tale om VAV anlæg (1-4 gange luftskifte/time) uden mekanisk køling forekommer forøgelsen at være meget lille.

#### *Belysning i gangarealer, trapper og atrium*

Elforbruget (måler 26) ligger omkring 350-430 kWh/døgn på hverdage og ned til 110-120 kWh/døgn i weekends.

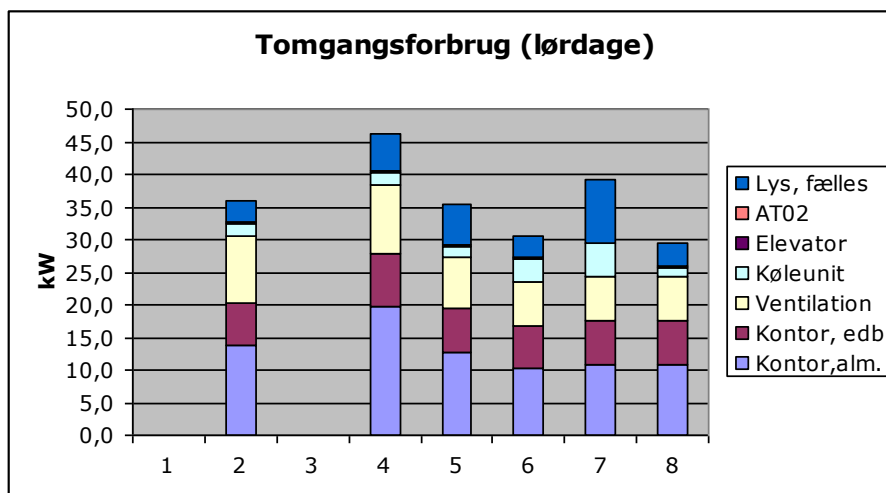
På årsbasis ligger elforbruget til belysning ret konstant på ca. 10.000 kWh pr. måned. Den automatiske lysstyring har givet anledning til en del klager fra brugerne af huset og man har derfor valgt at holde lyset tændt konstant i arbejdstiden.

#### *Elevatore*

Forbruget ligger meget konstant – ca. 1 kWh/døgn på alle dage. Forbruget synes umiddelbart meget lavt og (for) konstant.

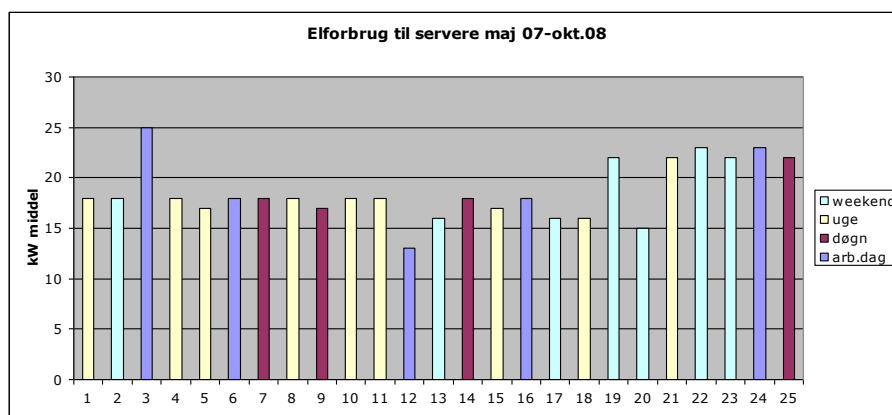
#### *Tomgangsforbrug*

Der er kun logget døgnværdier. Derfor er tomgangsforbrug undersøgt ved at se på forbruget i weekends. Logninger på hovedmåleren (timeværdier) viser at forbruget i weekends er meget tæt på forbruget uden for arbejdstiden i hverdage.



Figur 28. Tomgangseffekt middel ekskl. servere 2007-2008 på tilfældigt udvalgte lørdage. Søjle 2 er registreret i 2007 og de øvrige søjler stammer fra 2008.

Det ses ofte at energiforbruget har en tendens til at vokse, indtil man får øje på udviklingen. Man opdagede fx i efteråret 2008 at noget af belysningen kørte om natten (se søjle 7), hvorefter at man fik rettet nogle indstillinger i styringen og reduceret energiforbruget (se søjle 8).



Figur 29. Eleffekt, middel til servere ekskl. køling 2007-2008. Elforbrug til servere udgør 16-17 % af det samlede elforbrug i bygningen på årsbasis. Søjlerne numre er en relativ tidsreference.

Der er stort set ingen forskel på elforbruget til serverne – uanset om det er en almindelig arbejdsdag, nat, weekend eller en længere periode. Det har ikke været muligt at finde en forklaring på dette. IT leverandøren mener ikke, at forbruget bør ligge så jævnt. Da der sker opdateringer om natten vil der dog være et vist forbrug udover tomgangstabene.

I andre projekter, hvor Rambøll har undersøgt serveres elforbrug, har det viste det sig, at tomgangsforbruget lå omkring 40-50 % af det maksimale forbrug. Der kan dog være forskel på serveres opbygning. Udviklingen i branchen går mod mere effektive strømforsyninger, kølesystemer m.m.

I september oktober 2008 (søjle 21 og frem) udvidedes kapaciteten i serverinstallationen.

Bygningens serverinstallation dækker det meste af forbruget i bygningen og er desuden server for eksterne brugere. Til gengæld hører nogle af funktionerne i bygningen til servere udenfor bygningen. Alt i alt vurderes det at størrelsen af serverinstallationen og dermed forbruget, svarer til et typisk forbrug i en bygning af denne størrelse og anvendelse.

#### *Fordeling af elforbrug – august og november 2008*

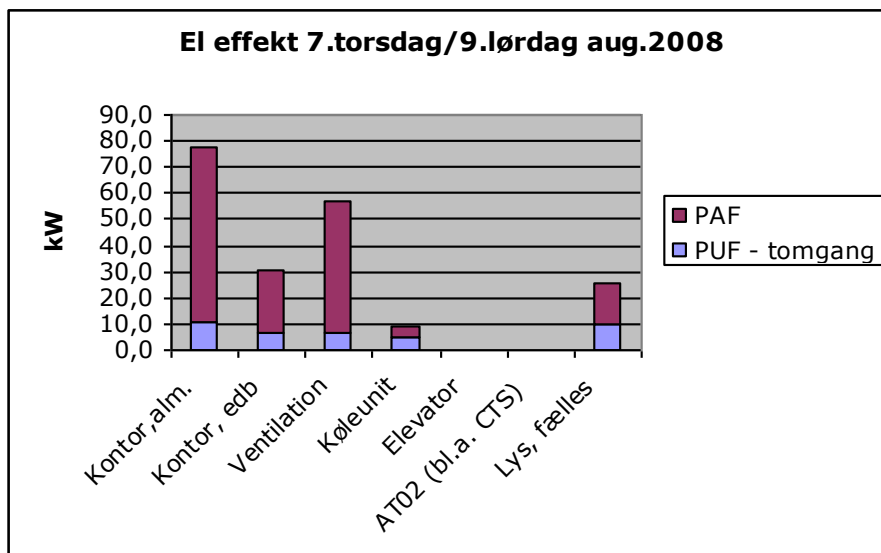
Der er set på sammensætning af elforbruget på en almindelig arbejdsdag henholdsvis en lørdag. Ud fra timelogninger på hoved elmåleren er det konstateret at forbruget uden for arbejdstiden svarer til forbruget i weekends. Derfor defineres disse forbrug som tomgangstab.

Opdeling af elforbrug:

- personafhængigt forbrug (beregnet på basis af døgnforbruget lørdag)
- personafhængigt forbrug (samlet forbrug ekskl. personafhængigt) over 10 timer

Den samlede effekt - kW i alt – er således summen af det personafhængige og det personafhængige forbrug.





Figur 30. Personafhængig (PAF) og personuafhængig (PUF) effekt august 2008 – el effekten er baseret på en torsdag hhv. en lørdag.

VAV-styringen øger luftskiftet torsdag den 7. august, hvor udetemperaturen nåede op på 23 °C og dagen havde 8 solskinstimer. Pga. de høje udetemperaturer er der en el effekt på ca. 10 kW til køling af servere.

I november (se Bilag 7 Målinger i demonstrationsbygning) ses der en tydelig reduktion i det variable elforbrug til ventilation. El effekt til serverkøling er kun 1-2 kW, da der er frikøling på anlægget.

El-effekt til belysningen er øget 10-15 % i november i forhold til august, men tomgangstab (PUF) er dog samtidig reduceret med ca. 50 %.

### Diskussion

Elforbruget på hovedmåleren ligger ret jævnt henover de 3 år uden store variationer måned for måned. I 2008 er der dog en lille stigning hen over sommeren og en nedadgående tendens i efterår/vinter, hvor man bl.a. har fundet nogle fejl i styringen af belysningen.

Nedgangen i medarbejderantal i sommeren 2007 reducerer kun forbruget en smule.

Tomgangseffekten ligger på ca. 70 kW - svarende til 4-5 W/m<sup>2</sup>. Den maksimale el effekt er ca. 250 kW - svarende til ca. 17 W/m<sup>2</sup>. Tallene er baseret på timeværdier.

I juli 2007 (se Bilag 7 Målinger i demonstrationsbygning) var der det laveste antal medarbejdere i bygningen siden ibrugtagningen. Dette slår ikke markant igennem i forbruget, hvilket især skyldes at belysning og ventilation kører næsten uændret. I storrumskontorerne er det ikke muligt at reducere belysningen og behovet for ventilation er samtidig øget pga. af stort solindfald og høje udetemperaturer.

Der er i perioden 2006.02.15 – 2008.11.10 registreret døgnforbrug på alle bimålerne. Tallene viser at 15-20 % af forbruget ikke bimåles. De fleste målere i kontorområderne viser et forbrug, der varierer meget – afhængig af om der arbejdes. En mindre del har meget konstante forbrug – specielt de målere, der registrerer it.

Ventilationsanlæggene kører med reduceret drift (60-70 % luft) uden for arbejdstiden om vinteren (når der ikke er kølebehov). I andre bygninger ses ofte større reduktioner af ventilationen uden for arbejdstiden. På en varm sommerdag i august øges luftmængden (beregnet som et gennemsnit for bygningen over 10 timer) til ca. 120 %, hvilket virker som en meget lille forøgelse med et VAV-anlæg, hvor man kunne forvente en fordobling af luftmængderne. Alle antagelser vedr. luftmængders variation er baseret på de registrerede elforbrug.

Belysningen i fællesområder er i begrænset omfang tændt uden for bygningens normale brugstid. Det gælder forventeligt også for kontorområderne, men bimålerne her omfatter mere end belysningen, så det er ikke umiddelbart muligt at vurdere forholdene ud fra målinger alene.

Det ses bl.a. i juleferien 2007, at det samme brugsmønster som på almindelige uger fortsætter på trods af ferien. Der er dog en reduktion i forbruget i dagtimerne i kontorområderne på ca. 20 %, hvilket kan forekomme at være en ret begrænset nedgang i forbruget i betragtning af at der må formodes at være meget få medarbejdere på arbejde disse dage. Formodningen understøttes af at vandforbruget i denne juleuge er ca. 20 % af ugerne før jul.

Servernes elforbrug indgår ikke i CTS-anlæggets logninger, men en række aflæsninger viser et meget konstant elforbrug – uanset om det er tale om en almindelig arbejdsdag, nat, weekend eller et gennemsnit over en længere periode. At systemopdateringer gennemføres uden for normal arbejdstid er ikke nok til at forklare de små udsving i forbruget.

### *Konklusioner*

#### *– Energinøgletal*

Bygningens nøgletal i 2008 for elforbrug er 73 kWh/m<sup>2</sup> pr. år (inkl. kældere), hvilket ligger omkring gennemsnittet af ejendommene i "Best Practice" projektet. Et andet, og måske bedre nøgletal fra samme projekt er personrelateret. I demonstrationsbyggeriet svarer elforbruget i bygningen til 2080 kWh/person pr. år. Dette ligger bedre end gennemsnittet i den bedste del af middelgruppen.

#### *– Hovedmålere og bimålere*

Analysen af tal fra hovedmålerne, herunder logning af timeværdier, giver nogle tydelige indikationer af om - og i givet fald hvor - der kan spares energi. Logningerne afslører tomgangsforbrug, bl.a. via forkerte indstillinger af automatikken. Det kræver efterfølgende en indsats på stedet at identificere årsagerne til tomgangsforbrugene.

En opdeling på bimålere bør planlægges meget tidligt i et byggeprojekt, så det hænger sammen med tavledisponering m.m. Ved at dække alle områder, kan man ved en simpel sammenlægning af tallene kontrollere om der måles korrekt.

Med en god disponering af bimålerne (målerhierarki) træder de enkelte delforbrug tydeligere frem og det er let at overvåge om forbruget og/eller sammensætningen af dette ændres. Indsatsen på stedet kan målrettes udvalgte områder af bygningen.

#### *– Ibrugtagning og drift*

Erfaringsmæssigt kræver det systematisk opfølgning at fastholde et lavt energiforbrug. Ved nybyggeri kræver det en særlig indsats at få kørt anlæggene ind på et tidspunkt, hvor der er mange andre ting at tænke på. Bygherren forventer at få et vel indreguleret og optimeret anlæg og tænker ikke på nødvendigheden af en planlagt test af funktionerne (commissioning).

#### *– Tomgangsforbrug*

Bygningens tomgangseffekt ligger på ca. 70 kW - svarende til 4-5 W/m<sup>2</sup> inkl. serverrum. Uden serverrummet og tilhørende køleanlæg ligger tomgangseffekten omkring 45 kW (2,5-3 W/m<sup>2</sup>). Dette forbrug hidrører især fra lys i fællesarealer, ventilation, ikke lokaliserede forbrug i kontorområder samt ikke-bimålte forbrug. Det bør være muligt at reducere dette forbrug.

#### *– Forbrug til drift*

Den maksimale tilførte effekt er ca. 250 kW - svarende til ca. 17 W/m<sup>2</sup>. Tallet kan bl.a. reduceres med mere effektivt it-udstyr. I en del af tiden kan forbrug til belysning reduceres med lysstyring, hvilket dog – i den aktuelle bygning – har givet for mange klager fra brugerne. Der er dog en del gode eksempler på, at lysstyring kan fungere uden mange klager.

– *Transformere på dellast*

En maksimal effekt på 17 W/m<sup>2</sup> ligger noget under de tal man normalt bruger til dimensionering af nettilslutningen og dermed transformeren til bygningen. En mere eksakt beregning af den maksimale effekt vil reducere tilslutningsafgiften og kunne medføre en mere præcis dimensionering af transformeren, der måske derved ville få en højere effektivitet.

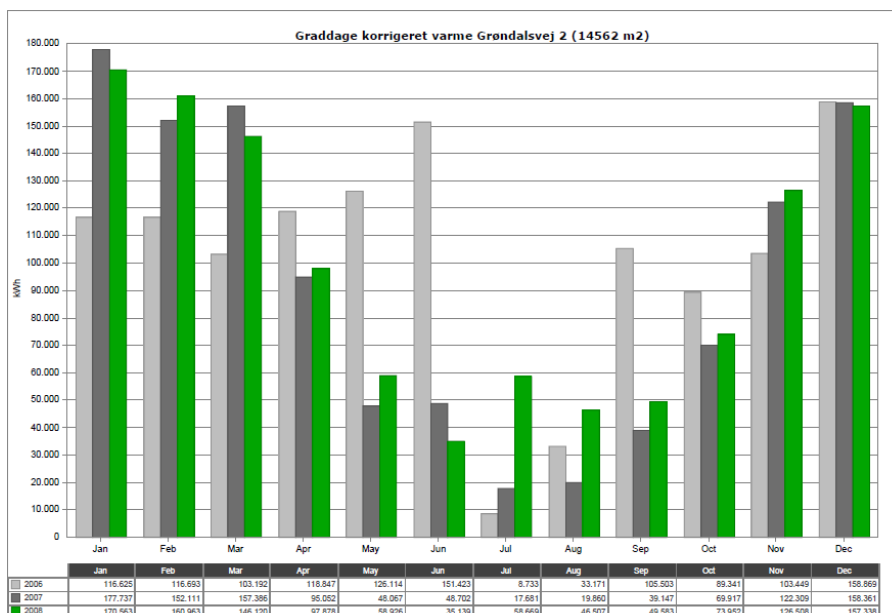
– *Servere*

Baseret på erfaringer fra andre projekter, hvor Rambøll har undersøgt serveres elforbrug har det vist sig, at tomgangsforbruget (oplyst af leverandøren) ofte ligger på 40-50 % af det maksimale forbrug. Der kan dog være forskel på serveres opbygning. Udviklingen i branchen går mod mere effektive strømforsyninger, kølesystemer m.m. Der ligger nogle uafklarede muligheder her for at reducere energiforbruget.

## Varme

Der er etableret bimålere (i alt 24 stk.) foran:

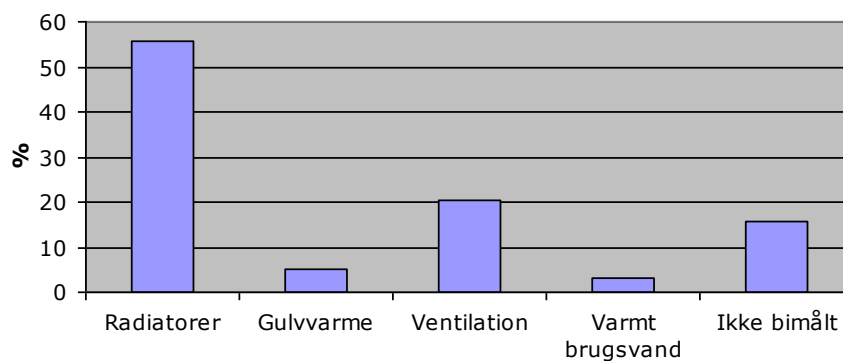
- radiatorer, blandesøjfer,
- gulvvarme, blandesøjfer,
- ventilation, blandesøjfer,
- brugsvandsvekslere.



Figur 31. Varmeforbrug med klimakorrektion. 2006-08.

Efter det første år, hvor bygningen har været i brug, ser anlægget ud til at være indkørt. Henover sommeren 2007 sker en stor flytning og der er få personer i bygningen i denne periode.

## Årsforbrug, varme sep. 2007-08



Figur 32. Årsforbruget september 2007 til september 2008, opdelt på delforbrug. Årsforbrug af fjernvarme er registreret til 1165 MWh (pr. 1. september 2007-08).

Ikke bimålt forbrug udgør 16 % og indeholder bl.a. tab fra varmforsyning af beholderne og blandesløjfer.

Opvarmning af brugsvand inkl. cirkulationstab udgør 4 %. Dette tal virker lavt, men skyldes delvis de decentrale anlæg og dermed korte rørstrækninger med cirkulation. På årsbasis er forbruget 36 MWh eller ca. 3 MWh/md. Selv i forhold til sommerforbruget i 2007 (ca. 20 MWh/md.) er forbruget til varmt brugsvand forbløffende lavt. Det kan skyldes målerfejl ved brugsvandsanlæggenes energimålere (der måske registrerer for lavt), tomgangstab eller ikke tilsigtede varmekonsum i varmeanlægget (der medfører ekstra varmekonsum).

Der er registreret en målerfejl på BV 04 (decentral varmtvandsbeholder), som kun har registreret et forbrug på 1,5 kWh/år. Beholderens vandmåler viser et forbrug på 44 m<sup>3</sup>/år svarende til netto ca. 2 MWh, hvilket dog kun bringer det samlede forbrug til varmt brugsvand inkl. cirkulation op på ca. 38 MWh/år eller 3,3 MWh/md. Dette er stadig meget langt fra de på hovedmåleren registrerede ca. 20 MWh pr. sommermåned.

### Diskussion

Der er, som det ses i tilsvarende byggerier, en indkøringsperiode på 1-2 år. Herefter svarer forbruget til, hvad man vil forvente. At godt halvdelen anvendes i radiatorerne forekommer rimeligt, idet ventilationsanlæggenes er forsynet med effektiv varmegenvinding. Der er kun gulvvarme i en lille del af bygningen.

Det ikke bimålte forbrug virker større end de tomgangstab man umiddelbart vil forvente og kan skyldes målerfejl.

Forbrug til opvarmning af brugsvand inkl. cirkulationstab (4 %) virker (for) lavt. Bl.a. synes der at være en målerfejl på en af varmtvandsbeholderne. En grundig gennemgang af varmeanlægget kan muligvis afsløre varmetab ude i anlægget.

### Konklusioner

Nøgletal, varme 2008: 73 kWh/m<sup>2</sup>

Forbruget ligger lidt bedre end gennemsnittet i "Best Practice" projektet.

Med en effektiv ibrugtagningssprocedure kan længden af indkøringen begrænses og det bedste resultat opnås. Her er de indbyggede bimålere og temperaturfølere tilsluttet CTS en vigtig del.

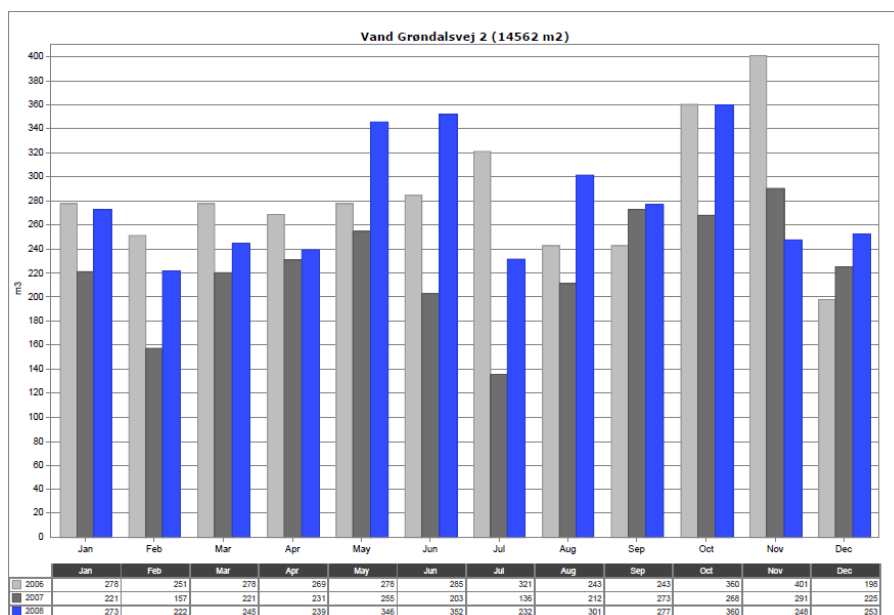
Planlægningen af både installationernes opbygning inkl. målersystemet skal allerede tænkes igennem tidligt i processen, som en del af en integreret designproces, hvor der også tænkes på energiforbrug og drift.

### Vand

Der er installeret bimålere (i alt 9 stk.):

- spædevand, regnvandsanlæg

- spædevand bassiner
- regnvand, toiletter
- regnvand, toiletter og bassin
- decentrale varmtvandsbeholdere



Figur 33. Diagrammet viser vandforbruget målt på hovedmåleren. Årsforbrug af vand fra den offentlige forsyning er ca. 3300 m<sup>3</sup> (pr. 1. september 2007-08). Varmt brugsvand udgør ca. 500 m<sup>3</sup>.

### Diskussion

Det lave antal medarbejdere i sommeren 2007 ses tydeligt på forbruget, mens andre variationer er vanskeligere at forklare. Forbrug i vandbassinerne har en væsentlig indflydelse på tallene i opadgående retning.

Til gengæld supplerer regnvandet vandstanden i bassinerne og modvirker derved ekstraforbruget til drift af pumper.

### Konklusioner

Nøgletal, vand 2008: 200 l/m<sup>2</sup> eller 6 m<sup>3</sup>/medarbejder

Forbruget svarer, trods tilførsel af regnvand og ekstra forbrug til bassiner, til forbruget i lignende byggerier.

## Temperaturmålinger

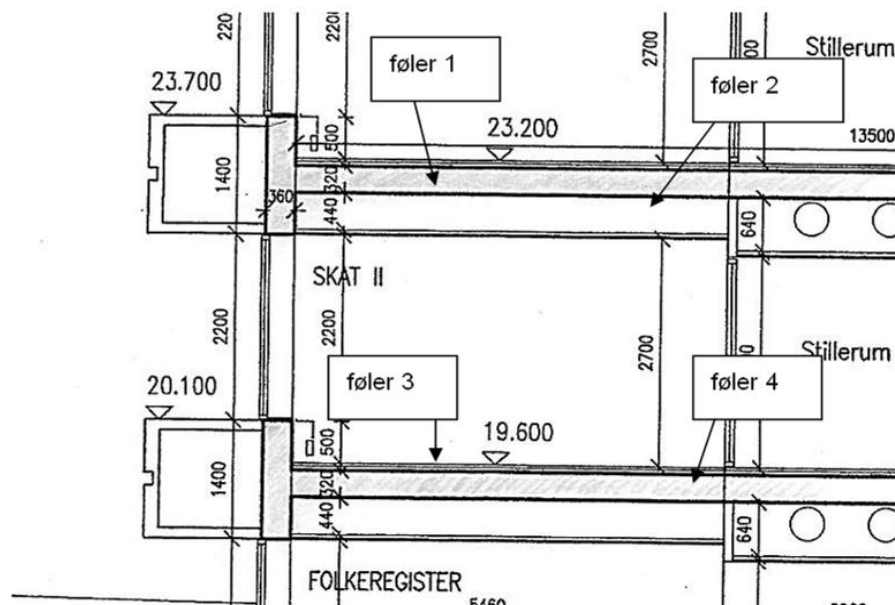
Der har gennem årene været talt om betydningen for indeklimaet af varmeakkumulering i bygningskonstruktionerne - og i den forbindelse, hvor stor effekt det vil have at fjerne varmen mere effektivt end det er muligt med natkøling med luft.

Der er som en mindre del af projektet indbygget følere i nogle af betondækkene samt i et nedhængt loft, for at kunne følge temperaturerne i konstruktionerne. Placeringen er i modul AB13 dvs. ca. 2,6 m fra SØ-facaden (mod Skanderborgvej) og ca. 25 m fra SV-gavl (mod Grøndalsvej).

Følerne er placeret i følgende punkter over og under plan 4 (næstøverste etage):

1. 30 mm oppe i huldæk over plan 4 - målt fra dækunderside (føler nr. 1)
2. i hulrummet over det nedhængte loft over plan 4 - mellem huldæk og nedhængt loft (føler nr. 2)
3. mellem gulvbrædder og afretning under plan 4 (føler nr. 3)
4. mellem afretning (ca. 40 mm) og huldæk under plan 4 (føler nr. 4)

Lufttemperaturen er målt i rummet (plan 4) samt rummet under (plan 3) og rummet over (plan 5).



Figur 34. Tværsnit i bygning i plan 4 ved facade mod Skanderborgvej. Varmekapaciteten i etagedækket (320 mm huldæk+40 mm afretning) er ca. 150 Wh/m<sup>2</sup>/K.

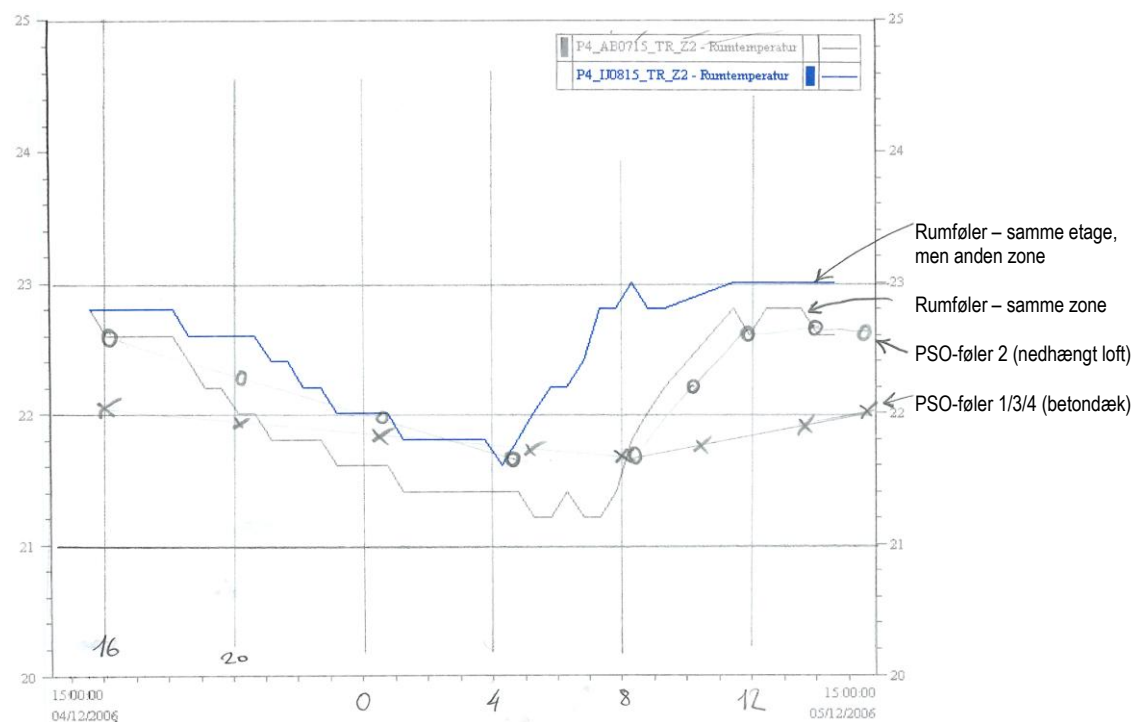
Der er gennemført målinger i 3 perioder:

- en kølig uge omkring 1. december 2006 med en udetemperatur på 6 til 12 °C og kun lidt sol
- en varm uge medio august 2007 med en udetemperatur på 9 til 28 °C og meget sol
- en kølig uge omkring 1. oktober 2007 med en udetemperatur på 2 til 16 °C og kun lidt sol (fremgår alene af Bilag 8 Måling af temperaturer)

En detaljeret gennemgang af målingerne findes i 'Bilag 8 Måling af temperaturer'.

### Kold periode

I denne periode arbejdede der 510 personer, hvilket er tæt på det bygningen er designet til maksimalt at huse.



Figur 35. Temperaturer på/over plan 4 den 4-5. december. De 3 følere i dækket ligger indenfor +/- 0,1-0,2 °C og er derfor vist som samme punkter.

### Diskussion

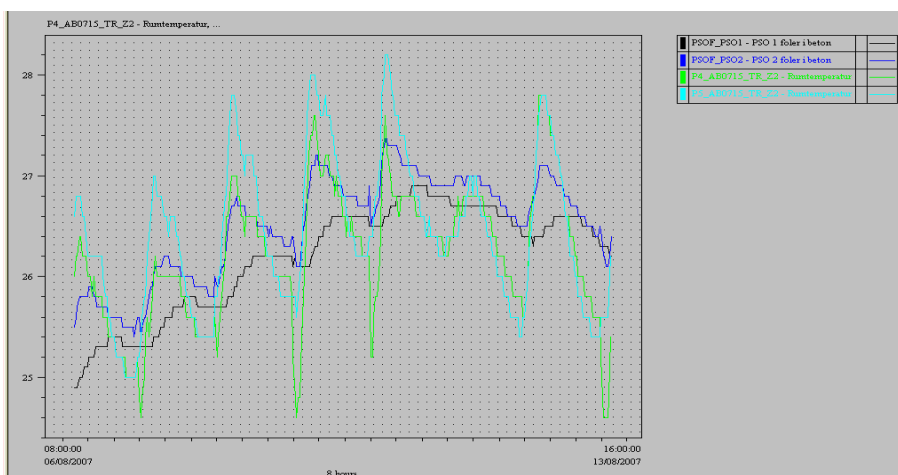
De første dage i perioden (ikke vist) holder solen rumtemperaturerne tæt på 24 °C hvorefter temperaturerne holder sig under ca. 23,5 °C. Som forventet svinger rumtemperaturen omkring betondækkets temperatur i løbet af et døgn. I løbet af weekenden falder rumtemperaturerne og temperaturerne i betondækket fra ca. 23 til 21,5 °C.

Der er et tydeligt fald i rumtemperaturerne efter arbejdstid. Over ca. 10 timer (ca. kl. 16 til 02) falder rumtemperaturerne ca. 1 °C. Temperaturfaldet bremses, når forskellen mellem betondækkets underside og rumluften er ca. 0,3-0,4 °C. Genopvarmningen (21,2 - 22,8 °C) tager ca. 4 timer. Rummets temperatur stiger i løbet af dagen til den er ca. 1 °C over betondækkets temperatur.

Efter arbejdstid (kl. 16 til 02) falder temperaturen i konstruktionerne 0,2-0,3 °C (i beton). I det samme tidsrum falder temperaturen i det nedhængte loft ca. 0,6 °C. I arbejdstiden medfører en stigende rumtemperatur og brug af belysning en temperaturstigning i det nedhængte loft. Det varmere loft medvirker dog ikke til at rumtemperaturen ikke overskrides – da den varme luft bliver oppe under loftet. Uden for arbejdstiden påvirkes temperaturen i det nedhængte loft mere af konstruktionens temperatur end af rummets temperatur.

### Varm periode

I denne periode arbejdede der omkring 300 personer (skønnet på baggrund af tallet for måneden) – lidt over halvdelen af det maksimale - i bygningen.



Figur 36. Rumtemperaturer på plan 4 (grøn), nedhængt loft (mørk blå) og dæk over rummet (sort).

### Diskussion

Den høje udetemperatur og de mange solskinstimer er med til at presse temperaturerne i bygningen op i løbet af ugen, frem til fredag.

Natsænkningen af rumtemperaturen bremses, når den er ca. 1,5-2 °C under temperaturen af betondækkene. Rumtemperaturen er langt fra at nå ned i nærheden af udetemperaturen (13-15 °C) om natten, selvom der skulle være natkøling via ventilationsanlægget.

Rumtemperaturerne ligger 1-2 °C over temperaturen af betondækket (ved en udetemperatur på 25-28 °C og megen sol). Den temperaturstigning, der sker i betondækkene svarer omtrent til stigningen i rumtemperatur i løbet af ugen. Temperaturen i dækkene over/under plan 4 ligger inden for 0,5 °C.

Den isolerende virkning af det nedhængte loft ses tydeligt om natten. Det fald, der sker i rumtemperaturen, slår kun i begrænset omfang igennem i det nedhængte loft.

I dagtimerne bidrager belysningen til temperaturstigningen i det nedhængte loft, men kun i et vist omfang.

## Konklusioner på temperaturmålinger

### *Natsænkning*

Ved en udetemperatur omkring 10 °C (døgnmiddel) sker der en sænkning af rumtemperaturen på ca. 0,8 °C i løbet af 16 timer, hvilket svarer til en reduktion i varmeforbruget på ca. 5 % over et døgn. Dog skal udetemperaturen længere ned end 10 °C før natsænkning har en reel betydning. Omkring 10 °C sker der kun en "annullering" af den stigning, der skete i løbet af arbejdsdagen.

Ved en døgnmiddeltemperatur på 5-10 °C går der et par timer med at hæve rumtemperaturen fra ca. 21,2 til 22 °C efter en natsænkning og der går yderligere et par timer før temperaturen stabiliseres på de ønskede 22,5-23 °C (sætpunkt for varme).

### *Varmeudveksling mellem rum-nedhængt og mellem loft-dæk*

Når rumtemperaturen overstiger konstruktionernes temperatur følger temperaturen over det nedhængte loft tæt rumtemperaturen – dvs. der overføres varme til dækkonstruktionen via det nedhængte loft. En del af varmen, der overføres til dækket, må antages at komme fra belysningen, der er indbygget i det nedhængte loft. I den meget varme periode kommer temperaturen i hulrummet over det nedhængte loft ikke ned på samme niveau som betondækkets temperatur og der sker således ikke nogen fjernelse af varme fra konstruktionen denne vej. I ingen af målingerne ses der varmetransport fra dækkonstruktionen til hulrummet over det nedhængte loft.

### *Varmeudveksling mellem dæk/gulv-rum*

Varmeafgivelsen fra dækket sker alene op gennem gulvkonstruktionen i de 3 måleperioder. Det er således af afgørende betydning, at gulvopbygning yder mindst mulig isolering mod denne transport.

### *Varmebalance ved udetemperaturer op til 10-15 °C*

Det ser ud til at rumtemperaturen kan holdes inden for +/-1 °C ved en udetemperatur på op til 10-15 °C i døgnmiddeltemperatur og med begrænset solbelastning. Konstruktionerne kan nå at afgive den oplagrede varme i løbet af natten uden natkøling.

### *Varmebalance ved udetemperaturer over 10-15 °C*

I den varme periode er den høje udetemperaturer og de mange solskinstimer med til at presse temperaturerne i bygningen op de første 4 dage (mandag til torsdag) af perioden. Det fremgår af logningerne at bygningen langsomt varmes op for at toppe i løbet af fredagen, hvor vejret bliver mindre varmt. Ved stor varmebelastning udefra kan rumtemperaturen overstige etagedækkets temperatur med 1-2 °C. Konstruktionernes varmekapacitet bevirker selvfølgelig også, at det tager tid at få temperaturen i rummene til at falde igen.

### *Varmekapacitet i dæk*

Varmekapaciteten i dækket er ca. 150 Wh/m<sup>2</sup> ved en temperaturændring på 1 °C i hele dækket, hvilket skønnes at tage et par døgn. Henover aften/nat vil dækket kun delvis ændre temperatur. Det anslås at en grads ændring i overfladetemperaturen i denne korte periode vil svare til en energimængde på 50-75 Wh/m<sup>2</sup>.

### *Natkøling*

Den lagrede energi i bygningen forlader kun konstruktionerne langsomt i løbet af natten. Det er et spørgsmål om natkølingen med ventilationsanlægget fungerer fuldt ud – et temperaturfald i betondækkene på 0,1-0,2 °C (over det nedhængte loft) hhv. 0,2-0,4 °C (gulv) er ikke nok til at bygningen kan holde en konstant rumtemperatur.



Med mere natkøling kan man sikre et bedre indeklima på en billigere og mere energirigtig måde.

Det ses, at bygningens – dvs. konstruktioner, inventar m.m. – træghed har en stor betydning for rumtemperaturen. Stigningen i rumtemperatur bremses, når den bliver et stykke over konstruktionernes temperatur. Ved at fjerne varmen fra konstruktionerne, fx ved ekstra luftskifte om natten eller med indstøbte køleslanger, kan opvarmningen over flere dage af konstruktionerne forhindres og dermed også den daglige stigning, der specielt opstår i varme perioder. Den mest effektive måde at fjerne varmen på er sandsynligvis med køleslanger, der til gengæld kun fjerner varmen i dækkene og evt. nogle af væggene. Over for dette står den mere kendte teknik med natventilation, der fjerner varme fra både konstruktioner og inventar, men dog har et større elforbrug til flytning af luften. Løsningerne kan evt. kombineres for at optimere effekten.

## Dagslys

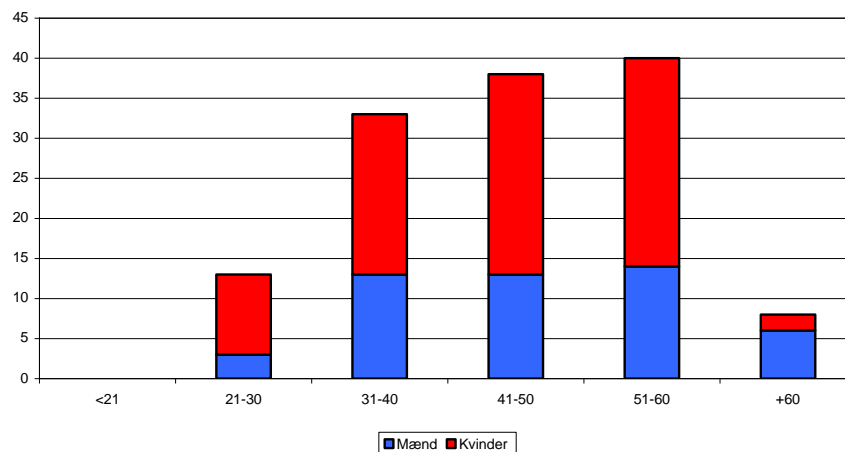
På baggrund af beregninger af dagslysforholdene i udvalgte rum af bygningen er det skønnet overflødigt at gennemføre en måling af dagslysforholdene. Beregningerne af dagslysforholdene viser, at der er et tilstrækkeligt dagslysniveau på alle arbejdspladser. Dette skyldes primært de meget høje vinduer (fra brystning til nedhængt loft), som bygningen er udstyret med.

## Spørgeskemaundersøgelse

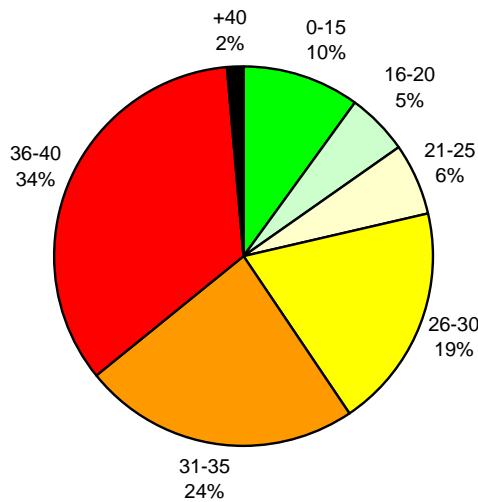
For at undersøge kvaliteten af indeklimaet i bygningen blev der i sensommeren 2006 iværksat en spørgeskemaundersøgelse (se 'Bilag 5 Spørgeskema') blandt de ansatte i huset. Undersøgelsen skulle afdekke tilfredsheden med indeklimaet i bygningen under typiske sommerforhold.

Svarene i dette afsnit omhandler alene spørgsmål omkring indeklimaet i kontorerne. Svar som vedrører indeklimaet i mødelokalerne findes i 'Bilag 5 Spørgeskema' i afsnittet 'Spørgsmål vedrørende indeklimaet i møderum/fællesrum'. Samtlige svar fra spørgeskemaundersøgelsen, inkl. uddybende svar i fri tekst findes i 'Bilag 6 Svar fra spørgeskemaundersøgelse'.

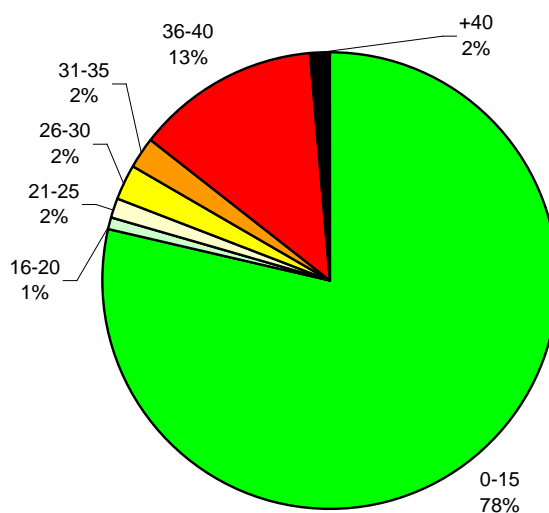
### Generelle resultater fra spørgeskemaundersøgelsen



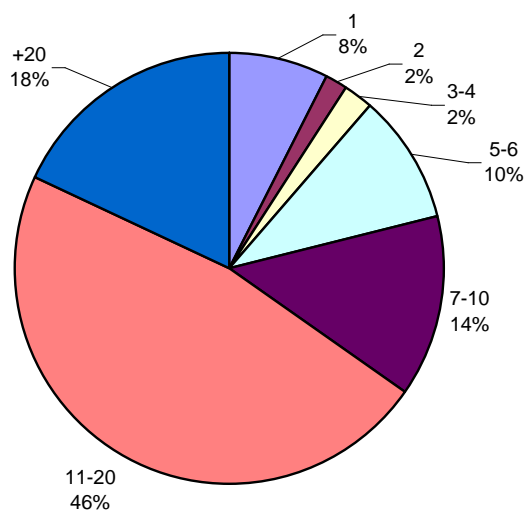
Figur 37. Alders- og kønsfordeling blandt respondenterne. Svarene kommer primært fra medarbejder i aldersgruppen mellem 30 og 60 år.



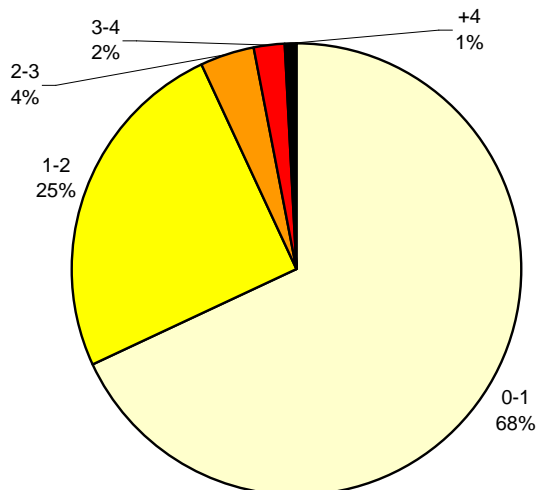
Figur 38. Arbejdstid pr. uge i på kontorarbejdspladsen. Mere end tre-fjerdedele af respondenterne bruger mere end 25 timer pr. uge ved deres arbejdsplads.



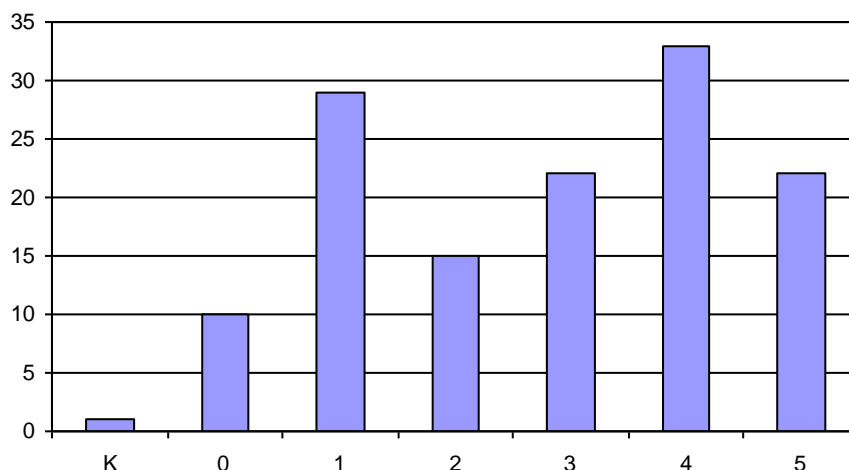
Figur 39. Arbejdstid pr. uge i mødelokaler. Mere end tre-fjerdedele af respondenterne bruger under 15 timer pr. uge i mødelokaler. Der er dog en anden gruppe, på 15 % som bruger næsten hele deres arbejdstid i bygningens mødelokaler.



Figur 40. Antal kolleger i samme kontor. Næsten 80 % af respondenterne i undersøgelsen arbejder i storkontor med mere end 6 kolleger i samme rum. Kun 8 % (10 personer) har deres arbejdsplads i deres eget cellekontor.

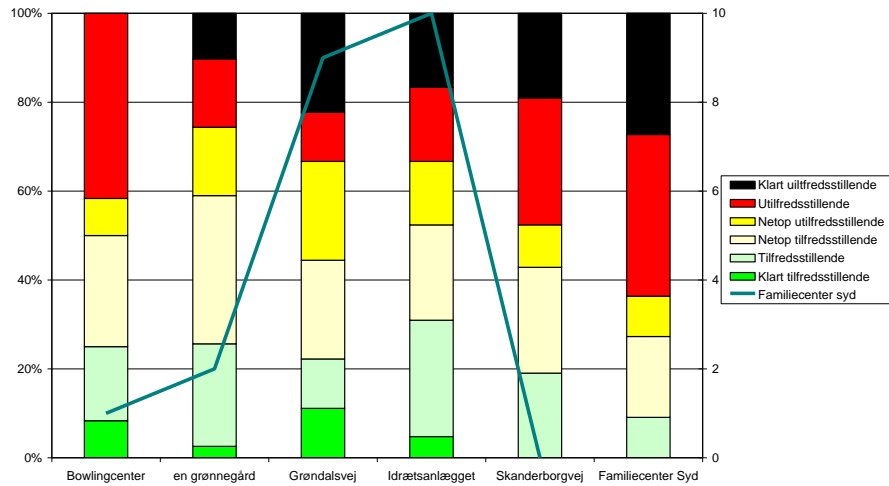


Figur 41. Arbejdspladsens afstand fra nærmeste vindue. Ca. to tredjedele af respondenternes arbejdsplads er, på trods af at de arbejder i et storrumskontor, placeret mindre end 1 meter fra det nærmeste vindue. Tre procent af arbejdspladserne (4) er placeret mere end tre meter fra det nærmeste vindue.

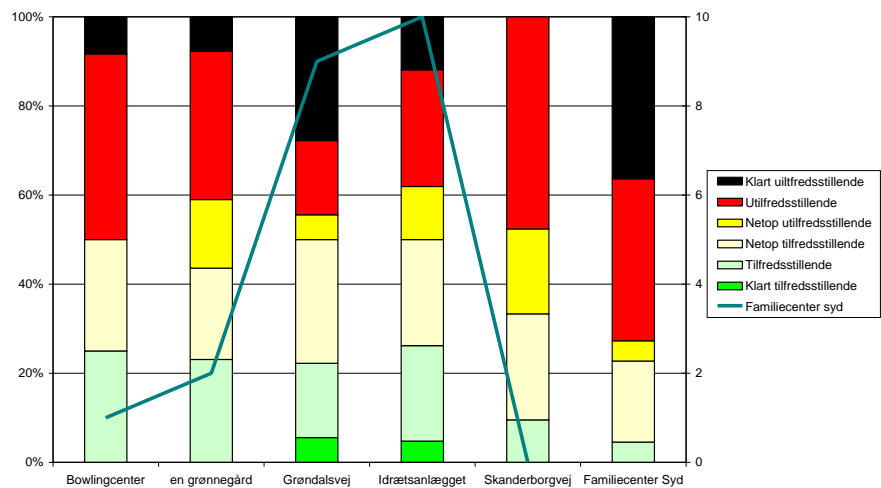


Figur 42. Arbejdspladsens placering i bygningens etager. Svarene kommer fra kontorer som er placeret nogenlunde jævnt fordelt på bygningens øverste 5 etager.

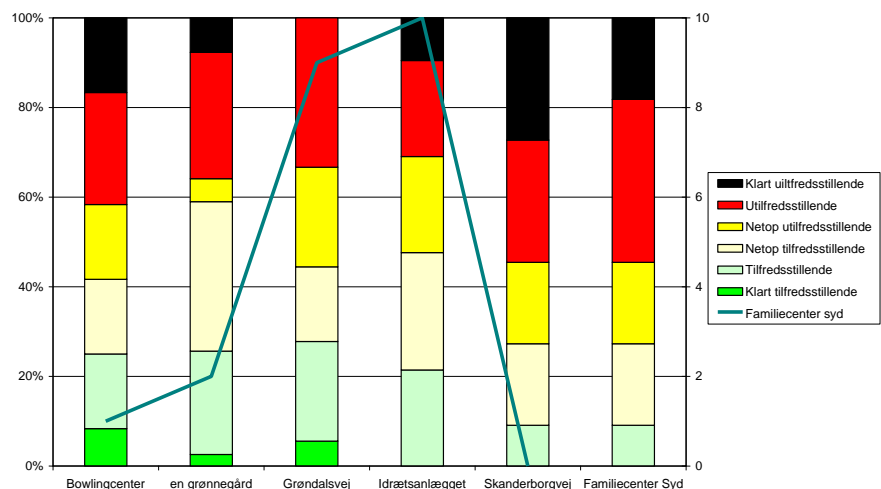
Driftspersonalet i bygningen havde den klare opfattelse at der generelt var flere problemer med indeklimaet i de dele af bygningen som blev benyttet af *Familiecenter syd*. Årsagen til dette skal formodentlig søges i afdelingens placering i etagerne over kantinen, i den knast som vender imod idrætsanlægget. Derfor blev der specifikt spurgt til arbejdspladsens placering i bygningen. Antallet af svar fra medarbejdere i *Familiecenter syd* med arbejdsplads i forskellig orientering er vist særskilt som en kurve i de følgende grafiske fremstillinger af svarene. Kurven for svar fra medarbejdere i *Familiecenter syd* viser antallet af svar, og refererer til akserne til højre i figurene.



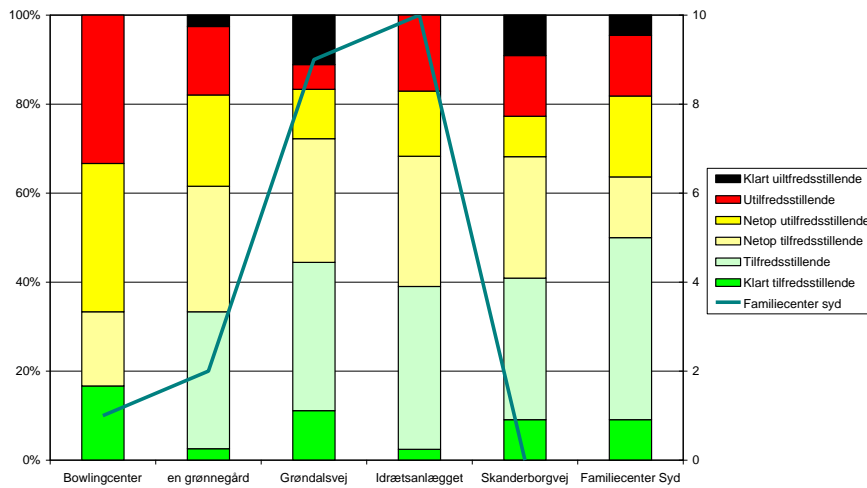
Figur 43. Tilfredshed med indetemperaturen afhængig af kontorets placering orientering og i bygningen. Der er overvægt af utilfredse blandt respondenterne i familiecenter syd uanset orientering af kontoret. Dette afviger dog ikke væsentligt fra svarene fra medarbejdere med kontor der vender imod Skanderborgvej (sydøst). Kurven viser antallet af medarbejder i Familiecenter syd (på akse til højre) i kontorer med de forskellige orienteringer.



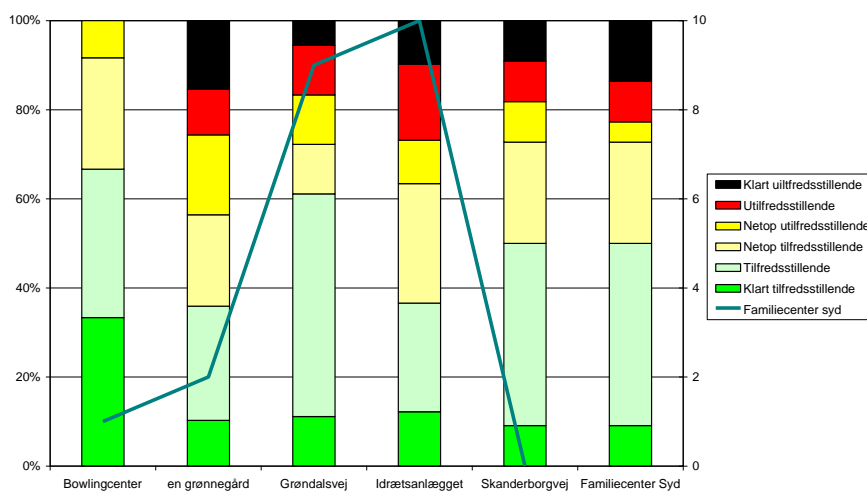
Figur 44. Utilfredshed med luftbevægelser. Utilfredsheden med luftbevægelserne er klart størst i familiecenter syd. Kurven viser antallet af respondenter (på akse til højre) tilknyttet familiecenter syd med de forskellige orienteringer af kontoret.



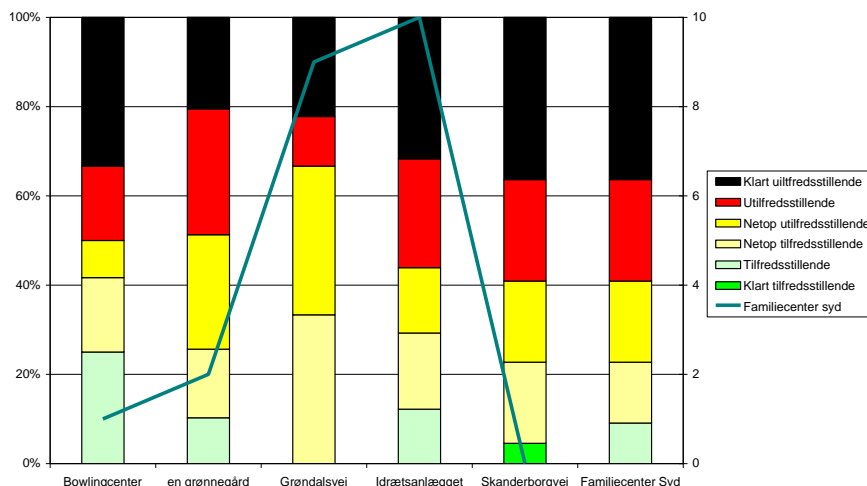
Figur 45. Tilfredshed med luftkvaliteten i afhængighed af kontorets orientering og placering i bygningen. Luftkvaliteten bedømmes generelt som værende dårligst for kontorer der vender mod Skanderborgvej (sydøst). Dette billede afviger fra de tidligere spørgsmål om indeklimaet (temperatur og luftbevægelser). Som bemærkning til den lave vurdering af luftkvaliteten er generelt at luften virker indelukket.



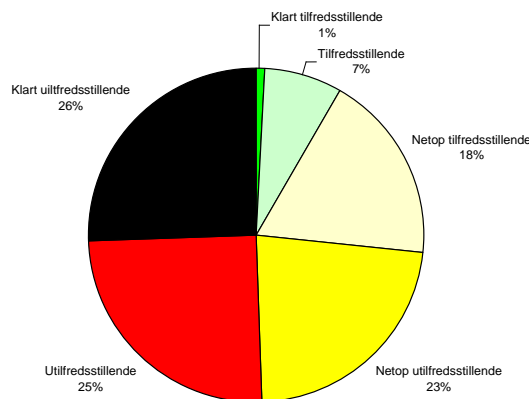
Figur 46. Tilfredshed med loftbelysningen i bygningen afhængig af kontorets orientering og placering.



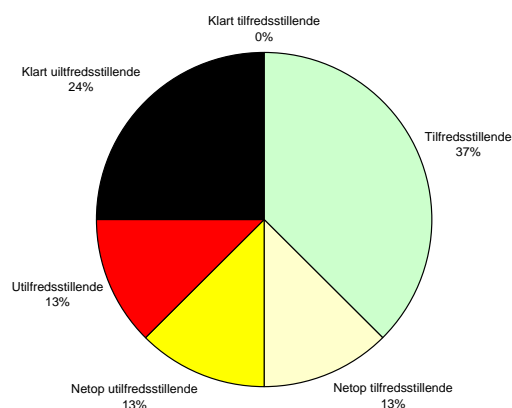
Figur 47. Tilfredsheden med dagslysforsholdene i kontorerne i afhængighed af kontorets orientering og placering i bygningen. Der er generelt stor tilfredshed med dagslysforsholdene i bygningen.



Figur 48. Tilfredshed med støjforholdene på kontorarbejdspladserne i bygningen. Der er generelt meget stor utilfredshed med støjniveauet i bygningen. Godt 70 % af alle respondenter bedømmer støjniveauet som utilfredsstillende, og begrundelsen er generelt det faktum at arbejdspladserne er placeret i et kontorlandskab. Blandt medarbejderne med kontor der vender mod Grøndalsvej er der færrest som er tilfredse med støjniveauet, men også færrest som er meget utilfredse.



Figur 49. Tilfredshed med støjniveauet blandt de respondenter (109) som deler kontor med mere end mere end 2 andre kolleger. 73 % af medarbejderne som har deres arbejdsplads i et storrumskontor er utilfredse med støjforholdene.



Figur 50. Tilfredshed med støjniveauet blandt de respondenter (i alt 8) som ikke deler kontor med andre kolleger. Generelt er medarbejderne som arbejder i et cellekontor mere tilfredse med støjforholdene end de medarbejdere som arbejder i et storrumskontor, men der er stadig 50 % som opfatter støjniveauet som utilfredsstillende. Grundlaget for disse svar er dog meget begrænset idet kun 8 respondenter har deres arbejdsplads i et cellekontor.

## Diskussion

Af svarene fra spørgeskemaundersøgelsen ses en relativt høj andel af utilfredshed blandt medarbejderne. Ved gennemgang af de detaljerede svar fremgår det at storrumskontorer er hovedårsagen til utilfredsheden.

I denne type undersøgelser, hvor ikke alle svarer på spørgeskemaet, men svarene bygger på svar fra 133 (40 %) respondenter ud af 330, er der en tendens til at svarene kommer fra de medarbejdere som er mest utilfredse med de forhold som der spørges om i undersøgelsen. Det skal dog ikke medvirke til at mindske indtrykket af generel utilfredshed med indeklimaet i bygningen, idet antallet af svar i gruppen af utilfredse er markant større end antallet af svar i gruppen af tilfredse. Lydforholdene er den enkeltfaktor af indeklimaet som får den dårligste bedømmelse, hvilket primært skyldes at en stor del af arbejdspladserne er placeret i et kontolandskab med flere kolleger i samme rum. Men også svarene omkring temperatur, luftkvalitet og luftbevægelser viser en høj grad af utilfredshed blandt medarbejderne.

## Konklusioner

At have sin arbejdsplads i et storrumskontor betragtes af medarbejderne som værende hovedårsagen til utilfredsheden med indeklimaet. Især problemer med støj optræder i rum af denne type.

Der er vanskeligt på en enkelt måde at ændre bygningen fra storrums til cellekontorer, selv med det relativt fleksible design som bygningen er udført med, men der kan med fordel arbejdes med andre foranstaltninger som reducerer generne ved støj fra kolleger i det samme rum.

# Generalisering af resultater

## Økonomi

Kvaliteten i byggeriet, herunder et lavt energiforbrug, øges ved at flytte fokus fra anlægsøkonomi til totaløkonomi. Dette giver større sikkerhed for at de store investeringer, der placeres i bygningerne, også er til stede efter mange år. Med mere fokus på bæredygtighed, etiske investeringer og totaløkonomi kan det forventes at udviklingen går mod mere energieffektive bygninger. Dette understøttes af krav fra både EU og nationale myndigheder. En øget anvendelse af LCA (life cycle analysis) og LCC (life cycle costs) er en del af denne mere holistiske måde at anskue mulighederne på.

Baseret på erfaringer fra tidligere gennemførte projekter og undersøgelser kan der tegnes følgende billede af økonomien i en optimeringsproces.

## Klimaskærm

En SBI redegørelse (Aggerholm, 2009) viste at den optimale isolering for nye bygninger af klimaskærmen inkl. vinduer i dag ligger omkring Lavenergi-klasse 2 (BR08) eller svarende til standardkravene i BR10 i de fleste fjernvarmeområder. Uden for fjernvarmeområderne ligger det optimale niveau tættere på Lavenergi-klasse 2015 (ca. svarende til den tidligere Lavenergi-klasse 1). Disse betragtninger tager udgangspunkt i dagens krav til tilbygninger, da der ikke eksisterer deciderede krav til isolering af de enkelte bygningsdele i bygningsreglementet.

En vigtig faktor er at godt isolerende energiruder samtidig lukker mindre solenergi ind og derved reducerer kølebehovet.

## Ventilation

En sammenligning af forskellige ventilationsprincipper (Århus Ingeniørhøjskole og Windowmaster, 2009) viser, at naturlig ventilation har de laveste anlægsudgifter - og som projektets simuleringer af en referencesituation viser - også de laveste driftsudgifter. Der kan være problemer med at opretholde en god komfort ved lav udetemperatur og her kan en kombination af naturlig og mekanisk ventilation udnytte begge princippers fordele. Totaløkonomisk set ligger en hybridløsning på niveau med naturlig ventilation i flg. førnævnte undersøgelse.

Der ligger en kvalitet i at kunne øge de samlede luftmængder i tilfælde af større varmebelastning eller større persontæthed end forventet se "Fleksibilitet". Overkapaciteten vil øge energieffektiviteten (SEL eller SPC værdi) i mekaniske ventilationsanlæg.

I et konkret stort kontorbyggeri med 14 ventilationsanlæg viste det sig, at en forøgelse af anlægsstørrelsen svarende til en reduktion i SFP på 10-20 % og en forøgelse af varmegenvindingseffektivitet på 5-10 % havde en simpel tilbagebetalingstid på ca. 5 år som gennemsnit. Hertil kommer mindre støj og at man opnår en reservekapacitet.

## Køling

Sammen med VAV er kølelofter den mest energieffektive løsning i kontorbyggeri. Behovsstyrede kølelofter har de laveste omkostninger over anlæggets levetid (LCC – Life Cycle Cost analyse) (Halton, 2003). TABS (indstøbte køleslanger) og naturlig ventilation indgår ikke i denne undersøgelse.

Hvis man ikke er opmærksom på varmebelastningen vil det i nogle situationer udelukke brugen af de mest effektive køleteknikker, der har sine begrænsninger i kapacitet.

### **Belysning**

El til belysning udgør mere end halvdelen af elforbruget i kontorområderne og 20-30 % af det samlede elforbrug. Det er derfor specielt vigtigt at vælge effektive belysningsanlæg.

Priserne på almenbelysning afhænger kun i mindre omfang af effektiviteten. Lysstyring har en stor betydning for elforbruget. Det vil selvfølgelig være afhængigt af, hvor gode dagslysforholdene er i rummene.

Det ses indimellem at lysstyring ikke fungerer tilfredsstillende, hvilket kan medføre mindre besparelser end det forventede og klager fra de ansatte, der føler sig generet af udsving i belysningsniveauet. I sidste ende kan dette føre til at automatikken slås fra og man holder lyset tændt hele arbejdsdagen.

Belysningens energiforbrug har også betydning for indeklimaet med den varmebelastning det giver.

### **Fleksibelt elforbrug**

Det er muligt, i et vist omfang, at flytte elforbruget i kontorbygninger. De ekstra udgifter, dette medfører i anlæg og drift, skal kunne modsvares af lavere elpriser. På nuværende tidspunkt er det kun variationen i elprisen, der kan give en, pt. beskeden, besparelse i udgifterne. Med en tilpasning af elafgifterne til den aktuelle miljøbelastning eller forbrug af fossilt brændsel vil der blive mere markante variationer i elpriserne.

Et andet sted man allerede nu kan spare er på betalingen for el-tilslutningen. Betalingen for elstikket ligger normalt på 3-4000 kr/kW.

### **Flytning af elforbrug til komfortkøling**

I kontorbyggerier kan man flytte en del af det elforbrug, der går til at holde rumtemperaturerne nede i sommerhalvåret. Simuleringer foretaget i projektet viser, at det er muligt at opretholde passende rumtemperaturer uden tilførsel af varme ved udetemperaturer omkring +10 °C i en normal bygning (dvs. ikke store glasarealer) som overholder energikravene i BR08. Over denne temperatur vil der normalt være kølebehov.

Flytningen af tidspunktet for køling kan ske ved at køle konstruktionerne (normalt kun i dækkene) med indbyggede varme-/køleslanger eller ved at ventilere/køle bygningen om natten (indvirker på alle konstruktioner og inventar). I varme perioder vil ventilation om dagen have en ret begrænset effekt på rumtemperaturen pga. den opvarmning, der sker i ventilationsanlægget (1-3 °C). Med den koldere luft om natten kan man mere effektivt fjerne varmen fra bygningen.

Hertil kommer at el produceret om natten generelt har en meget lavere miljøbelastning end el produceret om dagen. Som marginalbetragtning er der tale om omkring en halvering af CO<sub>2</sub> belastningen pr kWh. Da kølingen samtidig sker med færre m<sup>3</sup> luft skønnes der en reduktion af miljøbelastningen fra køling på 60-80 % med natkøling. I en kontorbygning på 15.000 m<sup>2</sup> vil der kunne flyttes op til 180 kW (50 W/m<sup>2</sup> køling med COP=4) til lavlastperioder på el-nettet. Dette svarer til omkring halvdelen af den samlede el-effekt i arbejdstiden.

### **Flytning af andet elforbrug**

- Køl-frys i køkkener – dette forbrug kan med velisolerede køle-/fryseskabe eller ditto rum i et vist omfang flyttes til om natten.
- IT – back up kørsler m.m. kan foretages på tidspunkter med lavere elpriser.



- Kølelagre – udover ovennævnte anvendelse af natkøling ved anvendelse af konstruktionerne, kan der etableres deciderede kølelagre med vand eller is. Der er ret store investeringer forbundet hermed og denne metode er derfor mere oplagt til konstante kølebehov i serverrum.

## Fleksibilitet i bygningen

Bygninger skal kunne fungere godt i mange år efter at de er opført. Anvendelsen kan ændre sig med tiden – fx færre/flere medarbejdere, færre/flere brugere, andre funktioner, nye arbejdsmetoder, omorganisering (Balaras, C.A., 2002).

Bygningen bør være fleksibel og dermed fremtidssikret. Derved bevarer den bedst sin værdi på længere sigt. Dette giver sig bl.a. udtryk i:

### Fleksibel indretning

#### – *Adgangsforhold*

Et fælles indgangsparti – evt. med fælles reception – gør det nemmere at ændre antal brugere af bygningen. Dertil kommer besparelser ved at have denne fællesfunktion.

Adgang til kontorer m.m. bør disponeres så bygningen kan fungere med ændringer i antal brugere (lejere).

#### – *Fælles faciliteter*

Fælles faciliteter, f.eks. en kantine, gør det muligt at variere antal brugere og man kan udnytte samtidighedsfaktoren til at optimere arealerne. Ved at lægge funktioner over i fælles funktioner, vil der normalt kunne opnås stordriftsfordele.

#### – *Fleksibel disponering af arealer*

Fleksibel disponering af etagerne; ved anvendelse af åbne gulvarealer med få faste kerner (toiletter, trapper m.m.) kan der nemt ændres fra cellekontorer til storrumskontorer/møderum/andet eller omvendt. I bygnings designfase bør det undersøges hvordan forskellige indretningsmuligheder fungerer indenfor de rammer klimaskærmen sætter.

#### – *Storrumskontorer*

Storrumskontorer er mindre følsomme for koncentrerede varmebelastninger og dermed mere fleksible; kan anvendes til formål med varmebelastning over gennemsnittet. Denne fleksibilitet betyder også, at en større del af gratisvarmen kan udnyttes.

Indretning med storrumskontorer medfører ofte at møderum placeres inde i bygningen. Der vil optræde kortere, kraftige varmebelastninger i møderummene og der er ingen vinduer at åbne. Det bør overvejes, hvordan dette problem løses, uden at det påvirker resten af de tekniske anlæg.

### Fleksible installationer

Modulopdelte installationer giver mulighed for at opstille skillevægge og underopdele rummene.

#### – *Varmeanlæg*

Varmeanlægget kan zoneopdeles med radiatorer på brystningerne i hvert facademodul f.eks. pr. 3 meter. Det skal overvejes, hvordan styringen kan fungere optimalt – både i større rum og i cellekontorer. En løsning kan være at anvende centralt placerede, motorstyrede ventiler, som i gulvvarmeanlæg. Med lavtemperaturanlæg har man en skjult reserve (ved en øgning af temperaturerne).

#### – *Brugsvandsanlæg*

Brugsvandsinstallationer placeres centralt i bygningen – i store bygninger evt. flere steder. Dette overflødiggør vandret cirkulation på etagerne, reducerer cirkulationstab og gør det nemmere at måle forbruget decentralt.

– *Ventilation*

Overdimensionering af ventilationsanlæg gør det muligt nemt at øge luftmængderne, hvis der skulle blive behov for det. Overdimensioneringen gælder selvfølgelig især kanalsystemerne - og især i de yderste ender. Det bør være muligt at tilslutte møderum, printerrum, m.m. alle steder i systemet. Hovedanlæggenes størrelse kan normalt fastholdes.

Der ligger dog en kvalitet i at kunne øge de samlede luftmængder i tilfælde af større varmebelastning eller større persontæthed end forventet. Overkapaciteten vil øge anlæggets energieffektivitet (SEL værdi).

Et let overdimensioneret anlæg vil have et lavere støjniveau. Anvendelsen af denne overkapacitet i nogle områder skal selvfølgelig ske samtidig med at der i muligt omfang reduceres i andre områder, så der alle steder leveres luft svarende til behovet.

– *Køling*

Ved små kølebehov kan disse klares med ventilationsanlægget. Ved lidt større kølebehov kan kølelofter anvendes evt. suppleret med køling af indblæsningsluften. Med højtemperaturanlæg har man en skjult reserve (ved en sænkning af temperaturerne).

– *Belysning*

For belysningsanlæg vil IBI-løsninger reducere ændring af styringen til en omprogrammering, hvis rummene skal anvendes til andet formål.

– *Automatik*

I CTS-anlæg med integrerede funktioner, hvor de samme rumfølere har indflydelse på flere funktioner, begrænses behovet generelt for fysiske ændringer af installationerne, når rummenes funktion ændres. Flexibiliteten kan øges ved at supplere med trådløse følere i det omfang, der ikke er placeret tilstrækkeligt med følere i den oprindelige installation. Undercentraler projekteres med et antal ekstra tilslutningsmuligheder.

## **Bimåling**

I kontorområderne bør elforsyningen sektionsopdeles og der måles på hhv. edb, lys og almindelige stikkontakter m.m.

Varme- og vandinstallationer kan opdeles i større områder.

Derudover bør der placeres bimålere (varme, vand og el) på de store fællesforbrug som fx ventilation, server og kantine.

Et forslag til bimåling kan være årsforbrug over 5-10.000 kWh el og 20-30.000 kWh varme.

## **Tomgangstab og varierende benyttelse**

Det er vigtigt i projekteringsfasen at være opmærksom på tomgangstabene kan begrænses samt reguleringsmulighederne på især ventilationsanlægge. Det bør være sådan, at en ændring i antal personer i bygningen medfører en mærkbar ændring i energiforbruget og dermed de samlede driftsudgifter. Denne problematik illustreres godt af de tidligere beskrevne målinger af elforbrug, der udviser en meget lille variation ved varierende antal medarbejdere.

Med et lavt energiforbrug er man bedre sikret mod de højere energipriser, der må forventes at komme. Selvom energjudgifterne kun udgør en lille del af de samlede driftsudgifter, lønninger m.m., så kan de udgøre en væsentlig del af overskuddet (eller underskuddet).

Det må forventes at en fleksibel bygning vil være nemmere at fylde op, når der sker nedgang hos en/flere af brugerne. Flexibiliteten gør det nemmere at fylde op på ledige arealer. Derved kan opnås en bedre udnyttelse af bygningen, flere personer at dele de fælles energiforbrug ud på og derved et lavere forbrug pr person. En 50 % forøgelse af antal arbejdspladser øger primærenergiforbruget med ca. 20 % og reducerer antal komforttimer med 2-3 %. Målt pr. arbejdsplads falder forbruget fra 1,6 til 1,33 MWh (15-20 %).

## Vedligeholdelse

Det skal være nemt at vedligeholde/udskifte installationer og bygningsdele. For ventilationsanlæg kan vedligeholdelsesbehovet reduceres med filtre på friskluftdelen, men der skal være tilgængelighed for rengøring – specielt ved bygningsintegrerede kanaler.

De gennemførte simuleringer omhandler kun omkring halvdelen af det samlede elforbrug i et typisk kontorbyggeri. Det er udelukkende forbruget i kontorarealerne og elforbruget til drift af ventilation og køling af samme områder, der indgår.

Herudover er der elforbrug i fælles installationer – mange med konstante forbrug (servere og tilhørende installationer, krydsfelter, elevatorer m.m.) og fællesarealer (især køkken). For at opnå et lavt "indbygget" elforbrug er det vigtigt, at man er opmærksom på forbruget alle steder.

## Beregninger og simuleringer, generelt

Der er i projektet anvendt BSim til at simulere indeklima og energiforbrug. Fælles for BSim og tilsvarende programmer er, at de er udviklet primært til at simulere indeklima og effekt af forskellige tiltag til at opnå et godt indeklima. Et vigtigt biprodukt af simuleringerne er energiforbruget.

En modsætning hertil er Be06 (Aggerholm & Grau, 2005), der primært ser på energiforbruget til bygningsdrift, men som et biprodukt laver en grov vurdering af indeklimaet – primært for at kunne vurdere energiforbrug til komfortkøling.

Fælles for programmerne er at de ikke giver et udtryk for bygningens endelige energiforbrug. Begge programmer medtager hovedparten af det samlede opvarmningsbehov, men kun omkring halvdelen af det endelige elforbrug.

### Elforbrug beregnet

BSim medtager i princippet det samlede elforbrug i kontorområderne, men ikke udenfor (bortset fra ventilationsanlæg og køling).

Ønskes et mere dækkende tal for elforbruget vil det være nødvendigt at udføre en totalberegning, som beskrevet sidst i afsnittet "Beregninger af samlet elforbrug". En sådan beregning kan ligeledes give et godt bud på størrelsen af elstikket og vil alene herved kunne betale sig at gennemføre idet hver installeret kW effekt koster 3-4000 kr. Man ser ofte, at elstikket er dimensioneret ud fra ikke altid helt eksakte nøgletal.

Med en sådan beregning bliver det mere tydeligt, hvad brugerens eget udstyr betyder for bygningens samlede elforbrug.

## Ibrugtagning og drift

Med gennemførelse af simuleringer og beregninger af driftsforholdene kan man projektere og udføre de tekniske anlæg på den mest optimale måde. Der er hermed et godt grundlag for at opnå et lavt energiforbrug i bygningen efterfølgende. Fokus på et lavt energiforbrug er endvidere med til at begrænse varmebelastningen i kontorområderne og lette opgaven med at opnå et godt indeklima.

### Aflevering/ibrugtagning

Processen omkring aflevering/ibrugtagning af en bygning beskrives ofte med udtrykket "commissioning", der kan oversættes til samordnet idriftsættelse. I mange tilfælde gøres der for lidt ud af denne vigtige del af byggeprocessen. Rådgiveraftalen indeholder normalt ikke midler til en opfølgning og man

forventer at entreprenøren har den nødvendige kontrol af eget arbejde med som en del af entreprisen.

Det viser sig dog gang på gang, at reguleringer og overvågning ikke fungerer efter hensigten. Problemerne åbenbares delvis, når brugerne klager over dårligt indeklima – i færre tilfælde afslører et for højt energiforbrug, at der er noget galt med anlægget. Sidstnævnte situation forudsætter, at man har nogle realistiske forventninger til energiforbruget og at man følger op på det.

En del af afleveringsprocessen er også, at sikre at bygningens tæthed svarer til det krævede. Effektive ventilationsanlæg kommer først til deres fulde ret, hvis infiltrationen er på et lavt niveau.

Med de komplicerede reguleringssystemer, der indbygges i moderne bygninger, er en vel gennemført commissioning endnu mere nødvendig end tidligere.

### **Drift**

Med vel udførte simuleringer og beregninger samt en sikring af at bygningen og de tekniske anlæg fungerer som forudsat har driftspersonalet gode muligheder for at følge op på de beregnede energiforbrug og indeklimaforhold. Bl.a. kan det ses om energiforbruget og dermed en del af varmebelastningen i kontorområderne er så lav som forventet udenfor arbejdstiden, eller får man den forventede effekt ud af natkølingen osv.

Udover at teknikken skal fungere, er det også nødvendigt, at man har det rigtige personale, med en tilpas teknisk baggrund og interesse for bygningsdrift.

Brugerne og deres udstyr er det sidste vigtige led i kæden. Et energirigtigt byggeri kan belastes af brugerinstallationer med stort energiforbrug/varmeafgivelse.

# Litteratur

- Aggerholm, S.O. & Grau, K. (2005). *Bygningers energibehov* (SBI-Anvisning 213). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Aggerholm, S.O. (2009). *Skærpede krav til nybyggeriet 2010 og fremover. Økonomisk analyse*. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, Hørsholm.
- Balaras, C.A. (2002). TOBUS – A European method & software for office building refurbishment. *Energy and Buildings*, 34(2), 111-112.
- Bygge- og Boligstyrelsen. (1995). *Bygningsreglement 1995*. København: Boligministeriet.
- Carl Bro. (2004). *Administrationsbygning i Viby. Indeklimarapport, maj 2004*. Århus.
- Dansk Standard. (1993). *Norm for specifikation af termisk indeklima* (DS 474:1993). København: Dansk Standard.
- Det fleksible, energieffektive kontorhus (2004). Elforsk. Lokaliseret 20110516 på [http://www.elforsk.dk/doks/335-011/335-011\\_web.pdf](http://www.elforsk.dk/doks/335-011/335-011_web.pdf)
- Erhvervs- og Byggestyrelsen. (2005). *Tillæg 12 til Bygningsreglement 1995*. København.
- Erhvervs- og Byggestyrelsen. (2008). *Bygningsreglement 2008 (BR08)*. København.
- Erhvervs- og Byggestyrelsen (2010). *Bygningsreglement 2010 (BR10)*. København.
- Halton (2003). Præsentation af LCC vurderinger omkring ventilations- og køleprincipper). [www.halton.dk](http://www.halton.dk).
- Munch-Andersen, J. et al. (1999). *Småhuse* (SBI Anvisning 189, 2. udg.). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Sørensen, J.C. & Radisch, N. (2000-2004). *Best Practice - elforbrug i energieffektivt kontorbyggeri*. Teknologisk Institut, Høje Taastrup, Danmark.
- Wittchen, K.B., Johnsen, K., Grau, K. & Rose J. (2000-2010). *BSim - Brugervejledning*. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, Hørsholm, Danmark.
- Windowmaster og Århus Ingeniørhøjskole (2009). *Ventilationsprincipper*. HVAC Magasinet nr. 6, 2009. TechMedia, Glostrup.









# Bilag 1 Prototype, resultater

Væsentlige resultater af BSim-simuleringer er samlet i dette bilag, dels for indeklimaet, dels for energiforbruget. Indeklimaet beskrives ved % af arbejdstiden, hvor temperaturen er mellem 21,5 °C og 24,5 °C, dels ved antallet af timer i arbejdstiden, hvor temperaturen er over henholdsvis 26 °C og 27 °C. Resultaterne dækker et helt år og gælder for den sydvendte del af etagen, som er hårdest belastet, temperaturmæssigt. Bilaget indeholder flere tilfælde end de der kommenteres i afsnittet Resultater af simuleringer.

Energiforbruget angives som det årlige energiforbrug til opvarmning, samt det årlige energiforbrug henholdsvis til køling, belysning og pc-udstyr, beregnet ud fra el-forbruget, multipliceret med en faktor 2,5. Det totale primærenergiforbrug er beregnet som summen af energiforbruget til opvarmning, køling, belysning og pc-udstyr. Energiforbruget er opgjort i kWh/m<sup>2</sup> (netto-m<sup>2</sup>, dvs. ekskl. ydervægge), for en vis del af etagen, typisk den sydvendte halvdel (se de enkelte tabeller).

Tabel 19. Referencetilfælde. Temperaturforhold og primær energiforbrug. BSim-simuleringer.

|                     |   | Arbejdstid                       |                       |                       | Energiforbrug               |                              |                           |                                 |                             |
|---------------------|---|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
|                     |   | 21,5 °C < temp<br>< 24,5 °C<br>% | temp > 26 °C<br>timer | temp > 27 °C<br>timer | varme<br>kWh/m <sup>2</sup> | Køling<br>kWh/m <sup>2</sup> | lys<br>kWh/m <sup>2</sup> | pc-udstyr<br>kWh/m <sup>2</sup> | total<br>kWh/m <sup>2</sup> |
| Punktformet bygning |   |                                  |                       |                       |                             |                              |                           |                                 |                             |
| S                   |  | 85                               | 137                   | 76                    | 17                          | 31                           | 58                        | 31                              | 137                         |
| SØ-SV               |  | 82                               | 175                   | 103                   | 15                          | 32                           | 58                        | 31                              | 136                         |
| Stangformet bygning |   |                                  |                       |                       |                             |                              |                           |                                 |                             |
| celle N-S           |  | 73                               | 306                   | 152                   | 28                          | 28                           | 62                        | 32                              | 151                         |
| celle Ø-V           |  | 81                               | 208                   | 130                   | 32                          | 30                           | 63                        | 32                              | 157                         |
| storrums, N-S       |  | 89                               | 91                    | 44                    | 30                          | 27                           | 58                        | 30                              | 145                         |
| storrums, Ø-V       |  | 89                               | 107                   | 56                    | 33                          | 29                           | 59                        | 30                              | 151                         |

## Reference:

- Ydervægge (tunge) er isoleret svarende til U-værdi på 0,2 W/(m<sup>2</sup>K)
- Nedhængt loft dækker hele etageadskillelsen (ingen mulighed for varmeakkumulering)
- Vinduesareal på 22 % af etagearealet
- Ingen solafskærmning
- Natkøling med sætpunkt på 20 °C (maj – aug.)
- VAV-styret mekanisk ventilation med en varmegenvindingsgrad på 65 %
- Ingen mekanisk køling
- Opvarmning med radiatorer
- Mixing mellem termiske zoner (kun storrumskontorer) svarende til 0,75 – 1,0 m<sup>3</sup>/s
- I gennemsnit 70 % af medarbejderne er til stede i løbet af arbejdstiden (ma-fr kl. 08 – 17)
- Ingen dagslysstyring af almen belysning

– Standard arbejdspladsbelysning og pc-udstyr

I øvrigt henvises til rapportens afsnit Opbygning af bygningmodeller.

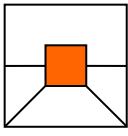
Tabel 20. Temperaturforhold og primær energiforbrug, høj personbelastning. I den punktformede bygning er placeret 50 % flere arbejdspladser end i referencetilfældet. I den stangformede bygning er regnet med at alle er på arbejde i hele arbejdstiden, mod 70 % i referencetilfældet.

|                            | Arbejdstid     |              |              | Energiforbrug      |                    |                    |                    |                    |
|----------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                            | 21,5 °C < temp | temp > 26 °C | temp > 27 °C | varme              | køling             | Lys                | pc-udstyr          | total              |
|                            | < 24,5 °C<br>% | timer        | timer        | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> |
| <b>Punktformet bygning</b> |                |              |              |                    |                    |                    |                    |                    |
| S                          | 80             | 184          | 107          | 12                 | 35                 | 67                 | 46                 | 160                |
| <b>Stangformet bygning</b> |                |              |              |                    |                    |                    |                    |                    |
| celle N-S                  | 63             | 437          | 263          | 23                 | 31                 | 73                 | 43                 | 170                |
| storum, N-S                | 84             | 132          | 70           | 23                 | 28                 | 68                 | 46                 | 165                |

### Punktformet bygning med sydvendt facade

Simuleringerne er foretaget på de tre vest-, syd- og østvendte zoner afgrænset på skitsen i Tabel 21 og Tabel 22. Pilen markerer nord. Temperaturforholdene gælder for den sydvendte af de tre zoner.

Tabel 21. Punktformet bygning med sydvendt facade. Temperaturforhold og primær energiforbrug. BSim-simuleringer.

|  | Arbejdstid     |              |              | Energiforbrug      |                    |                    |                    |                    |
|--|----------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|  | 21,5 °C < temp | temp > 26 °C | temp > 27 °C | varme              | køling             | Lys                | pc-udstyr          | total              |
|  | < 24,5 °C<br>% | timer        | timer        | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> |
| Reference  | 85             | 137          | 76           | 17                 | 31                 | 58                 | 31                 | 137                |
| <b>Tung eller let bygning</b>  |                |              |              |                    |                    |                    |                    |                    |
| 100 % tilg. loft   | 92             | 74           | 28           | 17                 | 26                 | 58                 | 31                 | 132                |
| 20 % tilg. loft  | 86             | 117          | 63           | 18                 | 29                 | 58                 | 31                 | 136                |
| Let facade   | 81             | 195          | 115          | 18                 | 33                 | 58                 | 31                 | 140                |
| BR95-krav <sup>1</sup>   | 88             | 112          | 62           | 42                 | 27                 | 58                 | 31                 | 158                |
| <b>Vinduesareal</b>  |                |              |              |                    |                    |                    |                    |                    |
| Små vinduer (15 % glas i fht etageareal)   | 92             | 67           | 28           | 14                 | 26                 | 58                 | 31                 | 129                |
| Optimeret mht. dagslys <sup>2</sup>  | 66             | 441          | 283          | 25                 | 37                 | 57                 | 31                 | 150                |
| Fuld glasfacade <sup>3</sup>   | 53             | 861          | 688          | 35                 | 43                 | 54                 | 31                 | 163                |
| Vinduer rykket 1/3 ind fra facaden   | 83             | 146          | 80           | 17                 | 31                 | 58                 | 31                 | 137                |
| <b>Solafskærmning</b>  |                |              |              |                    |                    |                    |                    |                    |
| Vandret, fast  | 87             | 114          | 57           | 17                 | 29                 | 59                 | 31                 | 136                |
| Lodret, fast   | 88             | 107          | 57           | 12                 | 29                 | 59                 | 31                 | 136                |
| Udv. persiener, aut.   | 89             | 100          | 50           | 18                 | 28                 | 60                 | 31                 | 138                |
| Indv. persiener, aut.  | 88             | 106          | 58           | 18                 | 29                 | 60                 | 31                 | 137                |
| Indv. pers., manuel  | 87             | 123          | 64           | 17                 | 29                 | 59                 | 31                 | 136                |
| Solafskærmende glas  | 94             | 56           | 22           | 25                 | 25                 | 61                 | 31                 | 141                |

(fortsættes)



Tabel 21 fortsat.

|  | Arbejdstid     |                       |                       | Energiforbrug               |                              |                           |                                 |                             |
|--|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
|  | 21,5 °C < temp |                       |                       | varme<br>kWh/m <sup>2</sup> | Køling<br>kWh/m <sup>2</sup> | lys<br>kWh/m <sup>2</sup> | pc-udstyr<br>kWh/m <sup>2</sup> | total<br>kWh/m <sup>2</sup> |
|  | < 24,5 °C<br>% | temp > 26 °C<br>timer | temp > 27 °C<br>timer |                             |                              |                           |                                 |                             |
| Solafskærmning (forts.)                                      |                |                       |                       |                             |                              |                           |                                 |                             |
| Optimeret vinduesareal<br>+ vandret solafsk.                 | 67             | 358                   | 234                   | 26                          | 37                           | 58                        | 31                              | 152                         |
| do. + solafsk. glas  | 82             | 175                   | 100                   | 27                          | 31                           | 60                        | 31                              | 149                         |
| Opvarmning   |                |                       |                       |                             |                              |                           |                                 |                             |
| 50 % gulvvarme   | 85             | 134                   | 72                    | 14                          | 31                           | 58                        | 31                              | 133                         |
| 100 % gulvvarme  | 84             | 134                   | 67                    | 13                          | 30                           | 58                        | 31                              | 132                         |
| Ventilationsanlæg  |                |                       |                       |                             |                              |                           |                                 |                             |
| 80 % virkn.grad på VGV                                       | 85             | 135                   | 72                    | 15                          | 30                           | 58                        | 31                              | 134                         |
| VAV (dag) + naturlig<br>vent. (nat)                          | 83             | 168                   | 92                    | 17                          | 24                           | 58                        | 31                              | 130                         |
| do.; VAV uden VGV  | 83             | 168                   | 93                    | 38                          | 24                           | 58                        | 30                              | 150                         |
| Optimeret mekanisk<br>ventilation <sup>4</sup>               | 84             | 146                   | 78                    | 13                          | 22                           | 58                        | 31                              | 124                         |
| Naturlig ventilation   | 88             | 72                    | 26                    | 13                          | 0                            | 58                        | 31                              | 102                         |
| CO2 styring, kv.klasse<br>A + naturlig vent. <sup>5</sup>    | 89             | 74                    | 27                    | 20                          | 0                            | 58                        | 31                              | 109                         |
| Luftudveksling og udluftning                                 |                |                       |                       |                             |                              |                           |                                 |                             |
| Ingen luftudveksling   | 83             | 175                   | 93                    | 17                          | 31                           | 58                        | 31                              | 137                         |
| Fordoblet luftudveksling                                     | 85             | 132                   | 71                    | 17                          | 31                           | 58                        | 31                              | 137                         |
| Vinduer åbnes manuelt<br>hvis temp > 24 °C                   | 92             | 82                    | 43                    | 17                          | 30                           | 58                        | 31                              | 136                         |
| Køling   |                |                       |                       |                             |                              |                           |                                 |                             |
| VAV + mekanisk køling  | 93             | 52                    | 21                    | 17                          | 34                           | 58                        | 31                              | 140                         |
| VAV m ½ luftmgd. og<br>mekanisk køling                       | 73             | 106                   | 22                    | 17                          | 28                           | 58                        | 31                              | 134                         |
| CAV (kølebafler) m.<br>natkøling                             | 90             | 16                    | 3                     | 19                          | 34                           | 58                        | 31                              | 142                         |
| Belysning og udstyr – se også Tabel 22                       |                |                       |                       |                             |                              |                           |                                 |                             |
| Pc-udstyr m. traditionel<br>skærm + BR95-krav til<br>bygning | 86             | 135                   | 77                    | 37                          | 29                           | 58                        | 58                              | 182                         |
| Persontæthed   |                |                       |                       |                             |                              |                           |                                 |                             |
| 50 % flere personer  | 80             | 184                   | 107                   | 12                          | 35                           | 67                        | 46                              | 160                         |
| Optimeret bygning  |                |                       |                       |                             |                              |                           |                                 |                             |
| Se note 6  | 90             | 73                    | 20                    | 19                          | 5                            | 29                        | 18                              | 71                          |

Noter:

1. Inkluderer også et vindue med et større ramme/karmareal og en højere U-værdi for ramme/karm og rude end i referencetilfældet, jf. beskrivelsen i afsnittet Opbygning af bygningsmodeller.

2. Kontinuerligt vinduesbånd med 0,8 m brystning, men med vinduer helt op til underside af nedhængt loft, svarende til et vinduesareal på 36 % af etagearealet.

3. Her dækker vinduerne fra gulv til underside af nedhængt loft, svarende til 51 % af etagearealet.

4. Betyder, at der benyttes et mekanisk ventilationsanlæg med 80 % virkningsgrad på varmegenvinding (VGV) og en lav SEL-faktor (Specifikt elforbrug til lufttransport).

5. Styring af ventilation i arbejdstiden efter kvalitetsklasse A for CO<sub>2</sub>-niveau (760 ppm, hvoraf 300 ppm er udeluftniveauet).

6. Optimeret bygning:

Dagslysstyring + Energibesparende armaturer og pc'er, kombineret med naturlig ventilation om sommeren og VAV-styret ventilation i arbejdstiden om vinteren. Naturlig ventilation er CO<sub>2</sub>-styret (klasse A) om dagen, og temperaturstyret om natten. VAV er tilnærmet CO<sub>2</sub>-styret. Øvrige forhold er som i referencetilfældet (tung/let bygning, vinduesareal, solafskærmning, opvarmning og persontæthed)

Tabel 22. Punktformet bygning med sydvendt facade. Temperaturforhold og primær energiforbrug. BSim-simuleringer. Belysning.

|  | Arbejdstid                  |              |              | Energiforbrug      |                    |                    |                    |                    |
|--|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|  | 21,5 °C < temp<br>< 24,5 °C | temp > 26 °C | temp > 27 °C | varme              | køling             | Lys                | pc-udstyr          | total              |
|  | %                           | timer        | timer        | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> |
| Reference  | 85                          | 148          | 82           | 16                 | 32                 | 64                 | 31                 | 143                |
| Belysning og udstyr – i alle tilfælde er dagslysstyring inkluderet |                             |              |              |                    |                    |                    |                    |                    |
| Dagslysstyring   | 85                          | 146          | 83           | 18                 | 32                 | 62                 | 31                 | 141                |
| + udv. persiener, aut.   | 86                          | 139          | 75           | 19                 | 31                 | 58                 | 31                 | 136                |
| + solafsk. glas  | 94                          | 56           | 23           | 25                 | 25                 | 61                 | 31                 | 141                |
| + energioptimale armaturer og pc'er (eap)                          | 90                          | 99           | 54           | 24                 | 27                 | 29                 | 18                 | 98                 |
| + eap + udv. persienne, aut.                                       | 89                          | 108          | 58           | 26                 | 29                 | 35                 | 18                 | 104                |
| + eap + solafsk. glas  | 95                          | 44           | 20           | 28                 | 22                 | 35                 | 18                 | 103                |
| + eap + optimal dagslysadgang                                      | 71                          | 350          | 230          | 32                 | 35                 | 34                 | 18                 | 118                |

### Punktformet bygning med sydøst- og sydvestvendte facader

Simuleringerne er foretaget på de tre sydøst-, syd- og sydvestvendte zoner på skitsen i tabel 23 og Tabel 24. Pilen markerer nord. Temperaturforholdene gælder for den mest sydvendte af de tre grå zoner.

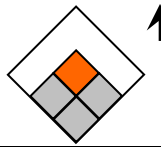
Tabel 23. Punktformet bygning med sydøst- og sydvestvendte facader. Temperaturforhold og primær energiforbrug. BSim-simuleringer.

|  | Arbejdstid                  |              |              | Energiforbrug      |                    |                    |                    |                    |
|--|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|  | 21,5 °C < temp<br>< 24,5 °C | temp > 26 °C | temp > 27 °C | varme              | køling             | lys                | pc-udstyr          | total              |
|  | %                           | timer        | timer        | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> |
| Reference                                | 80                          | 175          | 103          | 15                 | 32                 | 58                 | 31                 | 136                |
| Vinduesareal                             |                             |              |              |                    |                    |                    |                    |                    |
| Optimeret mht. dagslys <sup>1</sup>      | 62                          | 569          | 391          | 23                 | 40                 | 56                 | 31                 | 149                |
| Fuld glasfacade <sup>2</sup>             | 50                          | 967          | 835          | 30                 | 45                 | 52                 | 31                 | 158                |
| Solafskærmning                           |                             |              |              |                    |                    |                    |                    |                    |
| Vandret, fast                            | 85                          | 139          | 73           | 16                 | 31                 | 59                 | 31                 | 136                |
| Udv. persiener, aut.                     | 87                          | 115          | 61           | 17                 | 29                 | 61                 | 31                 | 138                |
| Solafskærmende glas                      | 91                          | 80           | 36           | 18                 | 26                 | 62                 | 31                 | 136                |
| Optimeret mht. dagslys + vandr. solafsk. | 63                          | 516          | 328          | 23                 | 40                 | 56                 | 31                 | 150                |
| do. + solafsk. glas                      | 79                          | 228          | 148          | 25                 | 33                 | 60                 | 31                 | 149                |
| Luftudveksling og udluftning             |                             |              |              |                    |                    |                    |                    |                    |
| Fordobling af luftudveksling             | 80                          | 172          | 97           | 16                 | 32                 | 58                 | 31                 | 136                |
| Vinduer åbnes manuelt hvis temp > 24 °C  | 88                          | 154          | 95           | 16                 | 32                 | 58                 | 31                 | 136                |

Note:

1. Kontinuerligt vinduesbånd med 0,8 m brystning, men med vinduer helt op til underside af nedhængt loft, svarende til et vinduesareal på 36 % af etagearealet.
2. Her dækker vinduene fra gulv til underside af nedhængt loft, svarende til 51 % af etagearealet.

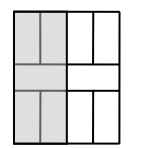
Tabel 24. Punktformet bygning med sydøst- og sydvestvendte facader. Temperaturforhold og primær energiforbrug. BSim-simuleringer. Belysning.

|  | Arbejdstid                  |              |              | Energiforbrug      |                    |                    |                    |                    |
|---|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|   | 21,5 °C < temp<br>< 24,5 °C | temp > 26 °C | temp > 27 °C | varme              | køling             | lys                | pc-udstyr          | total              |
|   | %                           | timer        | timer        | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> |
| Reference   | 80                          | 187          | 111          | 14                 | 33                 | 64                 | 31                 | 142                |
| Belysning og udstyr   |                             |              |              |                    |                    |                    |                    |                    |
| Dagslysstyring  | 83                          | 160          | 90           | 12                 | 33                 | 60                 | 31                 | 136                |

### Stangformet bygning med cellekontorer og nord- og sydvendte facader

Simuleringerne er fortaget på den del af etagen, der er markeret med gråt på skitsen i tabel 25 og Tabel 26. Pilen markerer nord. Temperaturforholdene gælder for det sydvendte kontor væk fra gavlen.

Tabel 25. Stangformet bygning med cellekontorer, og nord- og sydvendte facader. Temperaturforhold og primær energiforbrug. BSim-simuleringer.

|  | Arbejdstid                  |              |              | Energiforbrug      |                    |                    |                    |                    |
|---|-----------------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|   | 21,5 °C < temp<br>< 24,5 °C | temp > 26 °C | temp > 27 °C | varme              | køling             | lys                | pc-udstyr          | total              |
|   | %                           | timer        | timer        | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> |
| Reference   | 73                          | 306          | 152          | 28                 | 28                 | 62                 | 32                 | 151                |
| Tung eller let bygning  |                             |              |              |                    |                    |                    |                    |                    |
| 100 % tilg. loft  | 79                          | 178          | 87           | 28                 | 27                 | 63                 | 32                 | 150                |
| BR95-krav   | 79                          | 208          | 116          | 61                 | 24                 | 62                 | 32                 | 179                |
| Vinduesareal  |                             |              |              |                    |                    |                    |                    |                    |
| Optimeret mht. dagslys <sup>1</sup>   | 63                          | 481          | 324          | 30                 | 30                 | 62                 | 32                 | 155                |
| Fuld glasfacade <sup>2</sup>  | 49                          | 918          | 725          | 28                 | 36                 | 61                 | 32                 | 157                |
| Solafskærmning  |                             |              |              |                    |                    |                    |                    |                    |
| Vandret, fast   | 80                          | 219          | 112          | 29                 | 27                 | 63                 | 32                 | 151                |
| Udv. persienner, aut.   | 81                          | 170          | 90           | 30                 | 28                 | 65                 | 32                 | 150                |
| Solafskærmende glas   | 89                          | 89           | 45           | 33                 | 23                 | 65                 | 32                 | 152                |
| Fuld glasfacade + udv. aut. persienner  | 56                          | 597          | 405          | 33                 | 33                 | 64                 | 32                 | 162                |
| do. + solafsk. glas   | 69                          | 398          | 239          | 35                 | 27                 | 64                 | 32                 | 158                |
| Ventilationsanlæg   |                             |              |              |                    |                    |                    |                    |                    |
| 80 % virkn.grad på VGV  | 73                          | 303          | 157          | 27                 | 26                 | 63                 | 32                 | 148                |
| Køling  |                             |              |              |                    |                    |                    |                    |                    |
| VAV + mekanisk køling   | 81                          | 82           | 12           | 28                 | 31                 | 63                 | 32                 | 155                |
| Persontæthed  |                             |              |              |                    |                    |                    |                    |                    |
| Samtidighed 100 % <sup>3</sup>  | 63                          | 437          | 263          | 23                 | 31                 | 73                 | 43                 | 170                |
| Luftudveksling og udluftning  |                             |              |              |                    |                    |                    |                    |                    |
| Vinduer åbnes manuelt hvis temp. > 24 °C  | 89                          | 117          | 74           | 29                 | 26                 | 63                 | 32                 | 149                |
| do. + optimal dagslys-adgang  | 85                          | 185          | 112          | 32                 | 28                 | 62                 | 32                 | 155                |
| Vinduer og døre åbnes <sup>4</sup>  | 88                          | 83           | 41           | 31                 | 24                 | 63                 | 32                 | 150                |

Note:

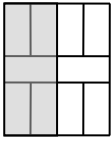
Simuleringerne er fortaget på den del af etagen, der er markeret med gråt på skitsen. Temperaturforholdene gælder for

1. Kontinuerligt vinduesbånd med 0,8 m brystning, men med vinduer helt op til underside af nedhængt loft, svarende til et vinduesareal på 27 % af etagearealet.

2. Her dækker vinduerne fra gulv til underside af nedhængt loft, svarende til 38 % af etagearealet.

3. Alle personer er til stede på deres kontor i arbejdstiden; i referencetilfældet regnes med at 70 % er tilstede.  
 4. Vinduer åbnes manuelt, hvis temperaturen overstiger 24 °C, samtidig med at døre fra alle kontorer åbnes, sådan at der kan flyttes varme fra sydvendte til nordvendte kontorer.

Tabel 26. Stangformet bygning med cellekontorer, og nord- og sydvendte facader. Temperaturforhold og primær energiforbrug. BSim-simuleringer. Belysning.

|  | Arbejdstid     |              |                    | Energiforbrug      |                    |                    |                    |       |
|---|----------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
|   | 21,5 °C < temp |              |                    | varme              | køling             | lys                | pc-udstyr          | total |
|   | < 24,5 °C      | temp > 26 °C | temp > 27 °C       |                    |                    |                    |                    |       |
| %   | timer          | timer        | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> |       |
| Reference   | 72             | 316          | 164                | 28                 | 29                 | 68                 | 32                 | 156   |
| Belysningsanlæg og udstyr – alle tilfælde er med dagslysstyring                   |                |              |                    |                    |                    |                    |                    |       |
| Dagslysstyring  | 73             | 309          | 165                | 26                 | 29                 | 66                 | 32                 | 153   |
| + solafsk. glas   | 89             | 90           | 48                 | 32                 | 23                 | 67                 | 32                 | 154   |
| + energioptimale armaturer og pc'er   | 79             | 207          | 105                | 34                 | 26                 | 37                 | 19                 | 116   |

## Bilag 2 Prototype, dagslysfaktorer

Tabel 27, Tabel 28, Tabel 29 og Tabel 30 giver en oversigt over dagslysfaktorer for de forskellige bygningsudformninger, vinduesstørrelse mv., fremkommet vha. BSim-funktionen SimLight. I hvert tilfælde er dagslysfaktoren beregnet for et enkelt punkt i hver af de termiske zoner.

I de punktformede bygninger er beregningspunktet placeret midtvejs i zonen, såvel på langs som på tværs af facaden, jf. at personerne sidder jævnt fordelt i zonen.

I de stangformede bygninger er beregningspunktet placeret 1,8 m fra facaden, jf. at kontorerne er beregnet til én person, som typisk vil sidde tæt på vinduet.

Programmet der beregner dagslysfaktorer (SimLight), tager ikke hensyn til tilstedeværelsen af solafskærmning i form af persienner og vandret eller lodret udhæng.

Tabel 27. Dagslysfaktorer. Punktformet bygning med S-, V-, Ø-, og N-vendte facader.

|                               | Sydvendt zone | Vest- og østvendt zone |
|-------------------------------|---------------|------------------------|
| Vinduesareal 22 % (reference) | 3,6 %         | 3,4 %                  |
| do. med solafsk. glas         | 2,9 %         | 3,1 %                  |
| Vinduesareal 15 %             | 2,7 %         | 2,4 %                  |
| Vinduesareal 36 %             | 6,9 %         | 6,5 %                  |

Tabel 28. Dagslysfaktorer. Punktformet bygning med S-, V-, Ø-, og N-vendte hjørner.

|                                    | Sydvendt zone | SV- og SØ-vendt zone |
|------------------------------------|---------------|----------------------|
| Vinduesareal 22 % (reference)      | 5,3 %         | 3,0 %                |
| Vinduesareal 36 % og solafsk. glas | 8,8 %         | 4,8 %                |

Tabel 29. Dagslysfaktorer. Stangformet bygning med cellekontorer.

|                               | Nord- og sydvendte facader | Øst- og vestvendte facader |
|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Vinduesareal 22 % (reference) | 4,4 %                      | 4,5 %                      |
| Vinduesareal 27 %             | 5,5 %                      |                            |
| Vinduesareal 38 %             | 6,0 %                      |                            |

Tabel 30. Dagslysfaktorer. Stangformet bygning med storrums kontor.

|                               | Nord- og sydvendte facader | Øst- og vestvendte facader |
|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Vinduesareal 22 % (reference) | 4,2 %                      | 4,2 %                      |

Beregningerne viser, at dagslysfaktoren i begge typer af bygninger opfylder kravet om en værdi på mindst 2 % med de valgte bygningsstørrelser.

## Bilag 3 Demonstrationsbyggeri, udførte simuleringer med BSim

Tabel 31 giver en oversigt over de udførte simuleringer på bygningsmodellen af demonstrationsbyggeriet i Viby.

Tabel 31. Oversigt over de væsentligste analyser.

| Analyse med udhæng <sup>1</sup>                                   | Forkortelse                  | HSV | SR Ydre |
|---|------------------------------|-----|---------|
| Reference   | Reference                    | X   | X       |
| Natkøling til 19 °C   | NC19                         | X   |         |
| Udluftning via vinduer med setpunkt på 22 °C                      | Ve22                         | X   | X       |
| Udluftning via vinduer med setpunkt på 24 °C                      | Ve24                         | X   |         |
| Natkøling til 19 °C og udluftning 22°C                            | NC19 Ve22                    | X   | X       |
| Natkøling til 19 °C og udluftning 24 °C                           | NC19 Ve24                    | X   |         |
| Infiltration halveret til 0,1 h <sup>-1</sup>                     | 50% Inf                      | X   |         |
| Udhæng reduceret til 0,75 m                                       | Udhæng 0,75                  | X   |         |
| <b>Analyser uden udhæng</b>                                       |                              |     |         |
| Udhæng fjernet  | IngenUdhæng                  | X   |         |
| + Solafskærmning med den dobbelte effekt                          | UdvAfsk                      | X   |         |
| + 40 % af betondæk frilagt (Varmeakkumulering)                    | 40% Varmeakk                 | X   |         |
| + Halveret effekt på almen belysning                              | 50% Lys                      | X   |         |
| + Halveret pc effekt  | 50% PC                       | X   |         |
| + Solafskærmning + halveret infiltration                          | UdvAfsk 50% Inf              | X   |         |
| + Solafskærmning + natkøling 19 °C                                | UdvAfsk NC19                 | X   |         |
| + Solafskærmning + natkøling 19 °C + udluftning 22 °C             | UdvAfsk NC19 Ve22            | X   |         |
| + Solafskærmning + natkøling 19 °C + udluftning 24 °C             | UdvAfsk NC19 Ve24            | X   |         |
| + Varmeakkumulering + solafskærmning                              | 40% Varmeakk UdvAfsk         | X   |         |
| + Varmeakk. + solafskærmning + natkøling 19 °C                    | 40% Varmeakk UdvAfsk NC19    | X   |         |
| + Varmeakk. + solafskærmning + halveret effekt på lys             | 40% Varmeakk UdvAfsk 50% Lys | X   |         |
| + Varmeakk. + solafskærmning+ natkøling 19 °C + udluftning 22 °C  | 40% Varmeakk UdvAfsk Ve22    | X   |         |
| + Varmeakk. + solafskærmning + natkøling 19 °C + udluftning 24 °C | 40% Varmeakk UdvAfsk Ve24    | X   |         |

## Bilag 4 Demonstrationsbyggeri, resultater

Resultatet af simuleringerne af demonstrationsbyggeriet i Viby i månederne juni, juli og august, udtrykt ved antallet af timer i arbejdstiden med mere end 27, 26 og 24 °C, andelen af arbejdstiden, hvor temperaturen er mellem 23 og 26 °C, samt energiforbruget til ventilation i kWh, kan findes i Tabel 32 og Tabel 33. Forkortelser er forklaret i Tabel 31 (Bilag 3 Demonstrationsbyggeri, udførte simuleringer med BSim).

Tabel 32. Analyser, HSV (Hjørne skatteforvaltning). Resultatoversigt. Tallene gælder for arbejdstiden (ma-fre kl.8-17) i juni, juli og august.

| System (filnavn)                      | Antal timer i arbejdstiden |         |         | % af arbejds- | Energiforbrug til           |          |
|---------------------------------------|----------------------------|---------|---------|---------------|-----------------------------|----------|
|                                       | > 27 °C                    | > 26 °C | > 24 °C | tiden         | ventilation i hele perioden |          |
| HSV                                   |                            |         |         | Mellem 23 °C  | kWh                         | normeret |
|                                       |                            |         |         | og 26 °C      |                             |          |
| Reference <sup>1</sup>                | 25                         | 58      | 251     | 64            | 688                         | 1        |
| NC19                                  | 17                         | 50      | 215     | 59            | 768                         | 1,12     |
| 50% Inf                               | 25                         | 59      | 252     | 66            | 705                         | 1,02     |
| Ve22                                  | 17                         | 40      | 142     | 39            | 605                         | 0,88     |
| Ve24                                  | 18                         | 42      | 245     | 67            | 681                         | 0,99     |
| NC19 Ve22                             | 14                         | 35      | 126     | 36            | 690                         | 1        |
| NC19 Ve24                             | 15                         | 36      | 208     | 61            | 764                         | 1,11     |
| Udhæng 0,75                           | 40                         | 81      | 280     | 64            | 717                         | 1,04     |
| Ingen udhæng                          | 49                         | 99      | 286     | 62            | 723                         | 1,05     |
| Herefter er alle analyser uden udhæng |                            |         |         |               |                             |          |
| UdvAfsk                               | 20                         | 55      | 239     | 64            | 708                         | 1,03     |
| 40% Varmeakk                          | 37                         | 76      | 252     | 62            | 747                         | 1,09     |
| 50% Lys                               | 49                         | 98      | 282     | 62            | 723                         | 1,05     |
| 50% PC                                | 41                         | 81      | 256     | 60            | 713                         | 1,04     |
| UdvAfsk 50% Inf                       | 20                         | 55      | 235     | 66            | 724                         | 1,05     |
| UdvAfsk NC19                          | 16                         | 46      | 216     | 60            | 789                         | 1,15     |
| UdvAfsk NC19 Ve22                     | 15                         | 33      | 131     | 38            | 718                         | 1,04     |
| UdvAfsk NC19 Ve24                     | 15                         | 34      | 203     | 62            | 785                         | 1,14     |
| 40% Varmeakk UdvAfsk                  | 14                         | 40      | 214     | 66            | 730                         | 1,06     |
| 40% Varmeakk UdvAfsk 50% Lys          | 14                         | 41      | 212     | 66            | 730                         | 1,06     |
| 40% Varmeakk UdvAfsk NC19             | 12                         | 36      | 187     | 58            | 813                         | 1,18     |
| 40% Varmeakk UdvAfsk NC19 Ve22        | 10                         | 25      | 114     | 38            | 739                         | 1,07     |
| 40% Varmeakk UdvAfsk NC19 Ve24        | 10                         | 26      | 184     | 60            | 811                         | 1,18     |

Note 1: Som reference benyttes natkøling (NC) med 20°C, VAVControl og ingen udluftning (Venting).

Hertil kommer el-forbrug til pc'er på 262 kWh og til lys på 51 kWh i referencetilfældet over perioden juni, juli og august.

Tabel 33. Analyser, SR Ydre (specialrådgivning f. voksne m. handicap). Resultatoversigt. Tallene gælder for arbejdstiden (ma-fre kl.8-17) i juni, juli og august.

| System (filnavn) | Antal timer i arbejdstiden |         | Energiforbrug til ventilation |          |
|------------------|----------------------------|---------|-------------------------------|----------|
|                  | > 27 °C                    | > 26 °C | kWh                           | normeret |
| SR Ydre          |                            |         |                               |          |
| Reference        | 35                         | 70      | 655                           | 1        |
| Ve22             | 25                         | 48      | 593                           | 0,90     |
| NC19 Ve22        | 22                         | 43      | 685                           | 1,04     |

Note: Antallet af timer med temperatur større end 24°C er ikke angivet

Hertil kommer et el-forbrug til pc'er på 295 kWh og til lys på 138 kWh i referencetilfældet. Heller ikke i dette tilfælde bruges energi til opvarmning, jf. den periode af året der indgår i simuleringerne.




# Bilag 5 Spørgeskema

Spørgeskemaundersøgelsen blev gennemført som en elektronisk undersøgelse via Internettet. Medarbejderne modtog et brev hvori de blev informeret om undersøgelsens formål og opfordret til at deltage.

I det følgende er spørgsmålene fra undersøgelsen gengivet i form af kopier af de internetsider som skulle besvares.

## Velkommen til spørgeskemaundersøgelse om indeklimaet i Århus kommunes administrationsbygning på Skanderborgvej



Formålet med spørgeskemaundersøgelserne, som suppleres med tekniske målinger, er at vurdere indeklimaet bygningen sidste eftersommer, dvs september 2006.

Spørgeskemaundersøgelsen gennemføres i samråd med Teknik & Miljø / Ejendomsforvaltningen og Rambøll.

Din besvarelse vil naturligvis blive behandlet fortroligt, og kun anonymiserede gennemsnitstal vil blive offentliggjort.


På sidste side er det muligt at give generelle kommentarer til indeklimaet.

Indtast din adgangskode for at starte undersøgelsen:


Besvar venligst spørgsmålene på hver side og hop videre ved at klikke på "Næste". Det kan være nødvendigt at tillade pop-up vinduer for at kunne skifte til næste side i spørgeskemaet.

På forhånd tak for din besvarelse!

[Næste](#) [Gem](#)

Powered by 

## Din brug af kontoret



Hvor mange timer tilbringer du i dit kontor i løbet af en normal arbejdsuge?


Hvor mange timer tilbringer du i fællesrum/møderum i løbet af en normal arbejdsuge?

Omtrent hvor langt (i meter) er din stol fra det nærmeste vindue?

Hvor mange personer, inklusive dig selv, arbejder der almindeligvis i kontoret?

Side 2 af 18

[Tilbage](#) [Næste](#) [Gem](#)

Powered by 



## Om dig selv

Køn

Kvinde

Mand

Din alder?

Omtrent hvornår flyttede du ind på dit kontor i den nye bygning?

Måned

År

Er der nogen, som ryger i nærheden af din arbejdsplads?

Ja

Nej

Side 3 af 18

[Tilbage](#) [Næste](#) [Gem](#)



## Placeringen af din arbejdsplads

Hvilken etage i bygningen befinder du dig på, når du er i dit kontor?

Vinduet i mit kontor vender mod:

Mit kontor er placeret i familiecenter syd

Ja

Nej

Side 4 af 18

[Tilbage](#) [Næste](#) [Gem](#)



## Denne side vedrører temperaturen i dit kontor

Hvordan vil du beskrive typiske indeklimamæssige forhold i dit kontor?

Rumtemperatur:

Klart tilfredsstillende

Tilfredsstillende

Netop tilfredsstillende

Netop utilfredsstillende

Utilfredsstillende

Klart utilfredsstillende

Side 5 af 18

[Tilbage](#) [Næste](#) [Gem](#)





## Denne side vedrører luften i dit kontor

Hvordan vil du beskrive typiske indeklimamæssige forhold i dit kontor?

Luftbevægelser:

- Klart tilfredsstillende
- Tilfredsstillende
- Netop tilfredsstillende
- Netop utilfredsstillende
- Utilfredsstillende
- Klart utilfredsstillende

Hvis utilfredsstillende, hvorfor?

- Stillestående
- Det trækker
- Andet

Luftkvalitet:

- Klart tilfredsstillende
- Tilfredsstillende
- Netop tilfredsstillende
- Netop utilfredsstillende
- Utilfredsstillende
- Klart utilfredsstillende

Hvis utilfredsstillende, hvorfor?

- Indelukket
- Ubehagelig lugt
- Andet

Side 6 af 18

[Tilbage](#) [Næste](#) [Gem](#)

Powered by  
**inquisite**



## Denne side vedrører lyset i dit kontor

Hvordan vil du beskrive typiske indeklimamæssige forhold i dit kontor?

Løftbelysning:

- Klart tilfredsstillende
- Tilfredsstillende
- Netop tilfredsstillende
- Netop utilfredsstillende
- Utilfredsstillende
- Klart utilfredsstillende

Hvis utilfredsstillende, hvorfor?

- For meget lys
- For lidt lys
- Blænding
- Reflekser i pc-skærm
- Andet

Dagslys:

- Klart tilfredsstillende
- Tilfredsstillende
- Netop tilfredsstillende
- Netop utilfredsstillende
- Utilfredsstillende
- Klart utilfredsstillende

Hvis utilfredsstillende, hvorfor?

- For meget lys
- For lidt lys
- Blænding
- Reflekser i pc-skærm
- Andet

Side 7 af 18

[Tilbage](#) [Næste](#) [Gem](#)

Powered by  
**inquisite**



## Denne side vedrører støj i dit kontor

Hvordan vil du beskrive typiske indeklimamæssige forhold i dit kontor?

Støjniveau:

- Klart tilfredsstillende
- Tilfredsstillende
- Netop tilfredsstillende
- Netop utilfredsstillende
- Utilfredsstillende
- Klart utilfredsstillende

Hvis utilfredsstillende, hvorfor?

- Støj i bygningen
- Støj udefra
- Andet

Side 8 af 18

[Tilbage](#) [Næste](#) [Gem](#)

Powered by  
**inquisite**

## Denne side vedrører din mulighed for at regulere indeklimaet i dit kontor



I hvor høj grad føler du, at du personlig har mulighed for i dit kontor at regulere og tilpasse følgende:

### Rumtemperaturen

- Fuld personlig kontrol
- Nogen personlig kontrol
- Begrænset personlig kontrol
- Ingen personlig kontrol

### Ventilationen

- Fuld personlig kontrol
- Nogen personlig kontrol
- Begrænset personlig kontrol
- Ingen personlig kontrol

### Loftbelysningen

- Fuld personlig kontrol
- Nogen personlig kontrol
- Begrænset personlig kontrol
- Ingen personlig kontrol

### Solafskærmningen

- Fuld personlig kontrol
- Nogen personlig kontrol
- Begrænset personlig kontrol
- Ingen personlig kontrol

Er der typiske situationer eller tidspunkter, hvor du *ikke* er tilfreds med den *automatiske* regulering af indeklimaet i dit kontor? dine *personlige* reguleringsmuligheder?

- Ja
- Nej

- Ja
- Nej

Side 9 af 18

[Tilbage](#) [Næste](#) [Gem](#)



## Denne side vedrører temperaturen i fællesrum/møderum



Hvordan vil du beskrive typiske indeklimamæssige forhold i fællesrum/møderum?

### Rumtemperatur:

- Klart tilfredsstillende
- Tilfredsstillende
- Netop tilfredsstillende
- Netop utilfredsstillende
- Utilfredsstillende
- Klart utilfredsstillende

### Hvis utilfredsstillende, hvorfor?

- For varmt
- For koldt
- For varierende
- Andet

Side 10 af 18

[Tilbage](#) [Næste](#) [Gem](#)



## Denne side vedrører luften i fællesrum/møderum



Hvordan vil du beskrive typiske indeklimamæssige forhold i fællesrum/møderum?

### Luftbevægelser:

- Klart tilfredsstillende
- Tilfredsstillende
- Netop tilfredsstillende
- Netop utilfredsstillende
- Utilfredsstillende
- Klart utilfredsstillende

### Hvis utilfredsstillende, hvorfor?

- Stillestående
- Det trækker
- Andet

### Luftkvalitet:

- Klart tilfredsstillende
- Tilfredsstillende
- Netop tilfredsstillende
- Netop utilfredsstillende
- Utilfredsstillende
- Klart utilfredsstillende

### Hvis utilfredsstillende, hvorfor?

- Indelukket
- Ubehagelig lugt
- Andet

Side 11 af 18

[Tilbage](#) [Næste](#) [Gem](#)





## Denne side vedrører lyset i fællesrum/møderum

Hvordan vil du beskrive typiske indeklimamæssige forhold i fællesrum/møderum?

Loftbelysning:

- Klart tilfredsstillende
- Tilfredsstillende
- Netop tilfredsstillende
- Netop utilfredsstillende
- Utilfredsstillende
- Klart utilfredsstillende

Hvis utilfredsstillende, hvorfor?

- For meget lys
- For lidt lys
- Blænding
- Reflekser i pc-skærm
- Andet

Dagslys:

- Klart tilfredsstillende
- Tilfredsstillende
- Netop tilfredsstillende
- Netop utilfredsstillende
- Utilfredsstillende
- Klart utilfredsstillende

Hvis utilfredsstillende, hvorfor?

- For meget lys
- For lidt lys
- Blænding
- Reflekser i pc-skærm
- Andet

Side 12 af 18

[Tilbage](#) [Næste](#) [Gem](#)



## Denne side vedrører støj i fællesrum/møderum

Hvordan vil du beskrive typiske indeklimamæssige forhold i fællesrum/møderum?

Støjniveau:

- Klart tilfredsstillende
- Tilfredsstillende
- Netop tilfredsstillende
- Netop utilfredsstillende
- Utilfredsstillende
- Klart utilfredsstillende

Hvis utilfredsstillende, hvorfor?

- Støj i bygningen
- Støj udefra
- Andet

Side 13 af 18

[Tilbage](#) [Næste](#) [Gem](#)



## Denne side vedrører din mulighed for at regulere indeklimaet i fællesrum/møderum

I hvor høj grad føler du, at du personlig har mulighed for i fællesrum/møderum at regulere og tilpasse følgende:

Rumtemperaturen

- Fuld personlig kontrol
- Nogen personlig kontrol
- Begrænset personlig kontrol
- Ingen personlig kontrol

Ventilationen

- Fuld personlig kontrol
- Nogen personlig kontrol
- Begrænset personlig kontrol
- Ingen personlig kontrol

Loftbelysningen

- Fuld personlig kontrol
- Nogen personlig kontrol
- Begrænset personlig kontrol
- Ingen personlig kontrol

Solafskærmningen

- Fuld personlig kontrol
- Nogen personlig kontrol
- Begrænset personlig kontrol
- Ingen personlig kontrol

Er der typiske situationer eller tidspunkter, hvor du *ikke* er tilfreds med:

den *automatiske* regulering af indeklimaet i rummet?

- Ja
- Nej

dine *personlige* reguleringsmuligheder?

- Ja
- Nej

Side 14 af 18

[Tilbage](#) [Næste](#) [Gem](#)



## Denne side vedrører generelle spørgsmål om indeklimaet



Er der situationer eller tidspunkter, hvor du *ikke* er tilfreds med indeklimaet i dit kontor?

- Ja  
 Nej

Hvis du har svaret "ja", er du velkommen til at uddybe svaret her:

Er der situationer eller tidspunkter, hvor du *ikke* er tilfreds med indeklimaet i fællesrum/møderum?

- Ja  
 Nej

Hvis du har svaret "ja", er du velkommen til at uddybe svaret her:

Side 15 af 18

[Tilbage](#) [Næste](#) [Gem](#)



## Denne side vedrører information om styring af indeklimaet



Hvordan er vejledningen og informationen om, hvordan de automatiske reguleringssystemer fungerer?

- Klart tilfredsstillende  
 Tilfredsstillende  
 Netop tilfredsstillende  
 Netop utilfredsstillende  
 Utilfredsstillende  
 Klart utilfredsstillende

Side 16 af 18

[Tilbage](#) [Næste](#) [Gem](#)



## Denne side vedrører information om styring af indeklimaet



Har du, eller dine kolleger, nogensinde udtrykt ønske om at få ændret på anlæggene for opvarmning, belysning, ventilation eller solafskærmning?

- Ja  
 Nej

Hvis "ja" - har det medført, at der er foretaget ændringer?

- Ja  
 Nej

Hvis "ja" - hvad er din mening om resultatet af ændringerne?

- Klart tilfredsstillende  
 Tilfredsstillende  
 Netop tilfredsstillende  
 Netop utilfredsstillende  
 Utilfredsstillende  
 Klart utilfredsstillende

Side 17 af 18

[Tilbage](#) [Næste](#) [Gem](#)



## Denne side giver dig mulighed for at komme med yderligere kommentarer til indeklimaet



Har du yderligere kommentarer til indeklimaet, er du velkommen til at anføre dem her:

Tak for din besvarelse!

Din besvarelse vil naturligvis blive behandlet fortroligt.

Tryk på knappen "Gem" eller "Afslut" for at afslutte undersøgelsen og skifte til SBI's hjemmeside.

Med venlig hilsen  
Kim B. Wittchen  
Statens Byggeforskningsinstitut

Side 18 af 18

[Tilbage](#) [Afslut](#) [Gem](#)

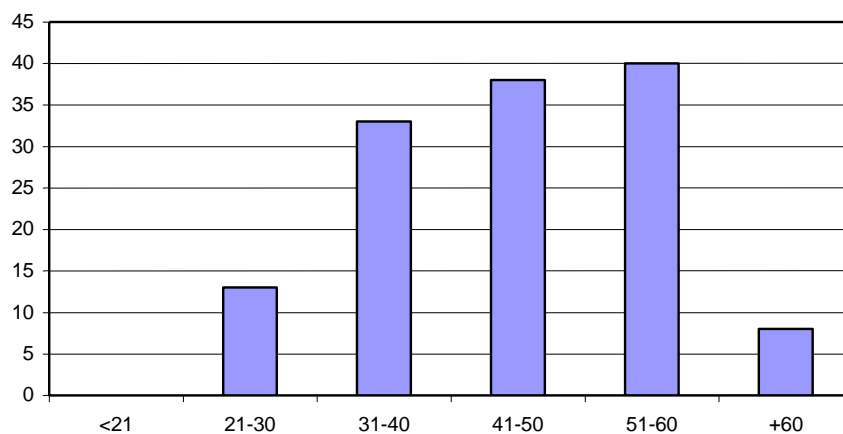


## Bilag 6 Svar fra spørgeskemaundersøgelse

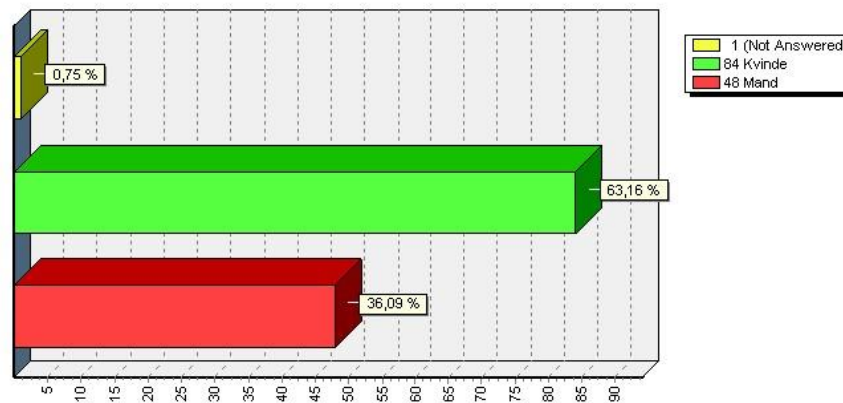
133 personer ud af 331 mulige har svaret på det rundsendte spørgeskema. Det giver en svarprocent på 40, hvilket må betragtes som tilfredsstillende.

### Generelle spørgsmål

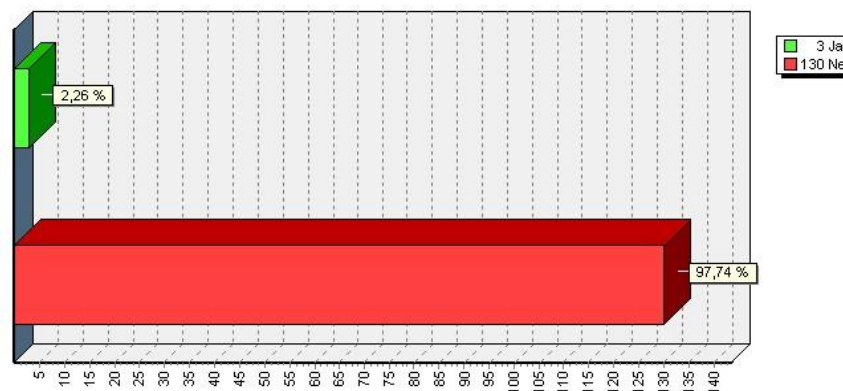
#### Aldersfordeling



#### Kønsfordeling



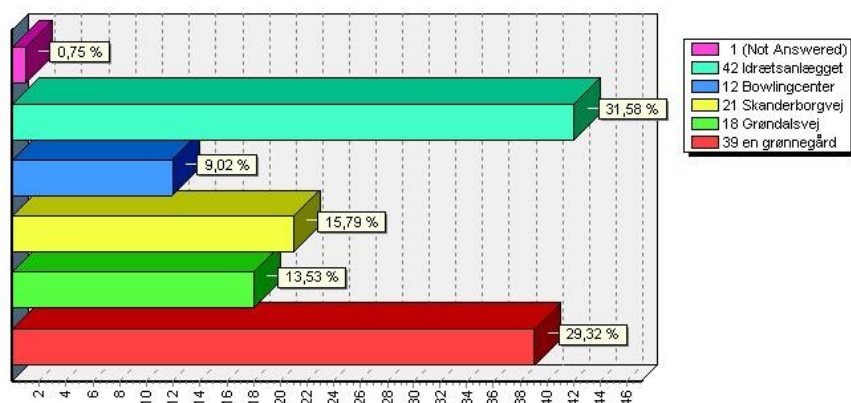
#### Rygning



Århus kommune har en rygepolitik som sikrer et røgfrit miljø, men der ryges uden for bygningen hvilket tre arbejdspladser er i nærheden af.



## Orientering af arbejdspladsen

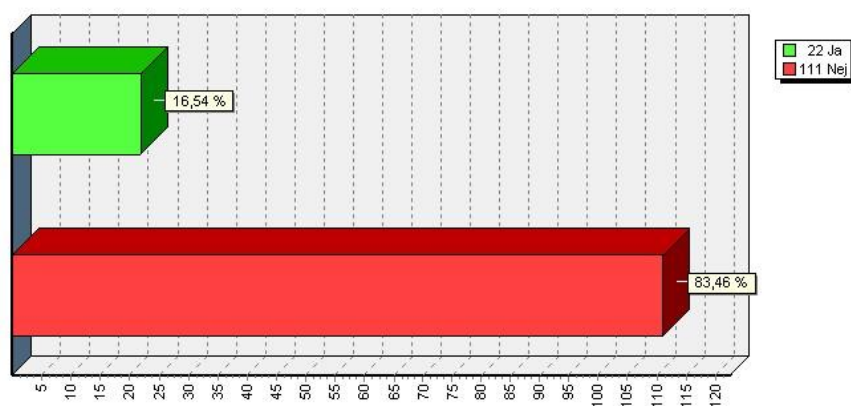


Arbejdspladsernes orientering i forhold til verdenshjørnerne blev bestemt af den udsigt som der var fra det nærmeste vindue.

Arbejdspladsernes orientering i forhold til verdenshjørnerne kan bestemmes af:

- Idrætsanlægget: nordvest,
- Bowlingcenter: nordøst,
- Skanderborgvej: sydøst,
- Grøndalsvej: sydvest,
- Grønnegård: arbejdspladsen vender imod en af bygningens interne gårdrum som strækker sig fra taget og ned til den nederste etage.

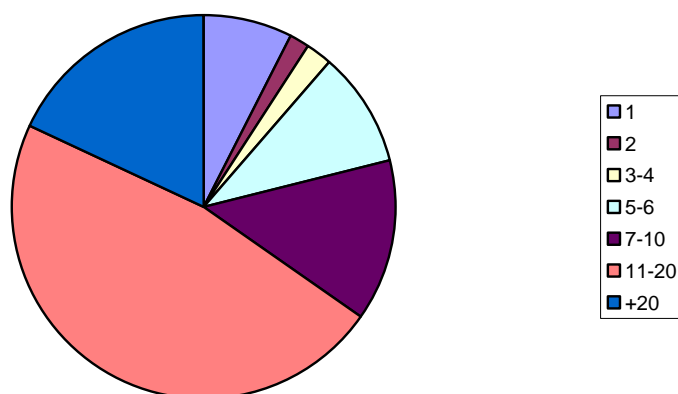
Medarbejderne i Familiecenter syd er fysisk placeret i den fløj af bygningen som er beliggende over kantinen og vender mod idrætsanlægget. Fra disse arbejdspladser har der generelt være mange klager over indetemperaturen. Derfor blev det undersøgt hvor mange af svarene som kom fra dette område i bygningen.



Langt den største andel af respondenterne har deres arbejdsplads uden for "Familiecenter syd" og svarene kan derfor generelt betragtes som repræsentative for hele bygningen.

De fleste arbejdspladser i bygningen findes i storrumskontorer og antallet af arbejdspladser omkring den enkelte arbejdsplads er derfor af interesse for at forstå svarene.

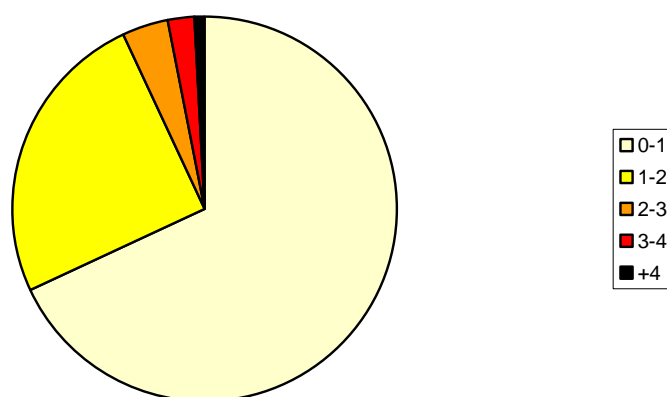
Antal personer i samme rum



Kun 8 % af respondenterne har deres arbejdsplads i et cellekontor. Fire % arbejder i samme kontor som 1-2 kolleger og de resterende 88 % af respondenterne har deres arbejdsplads i egentlige storrumskontorer med mere end 5 arbejdspladser.

I storrumskontorer vil der for en del arbejdspladser vedkommende være en betydelig afstand til nærmeste vindue og dermed muligheden for adgang til dagslys. Afstanden til nærmeste vindue er derfor af interesse for de øvrige svar.

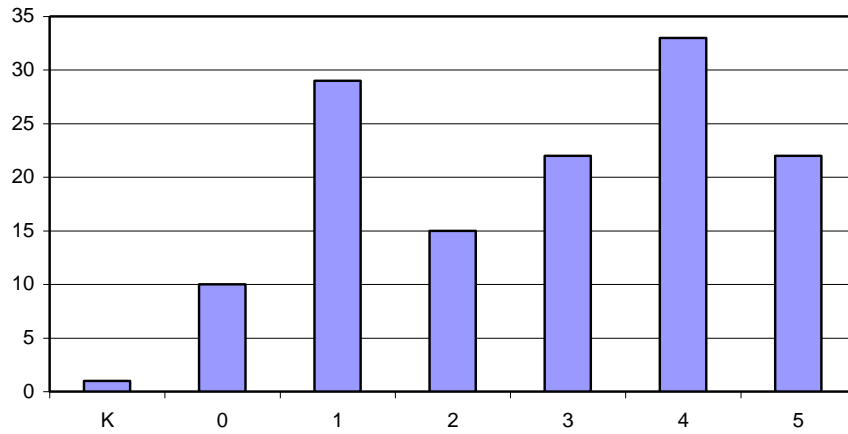
Afstand fra nærmeste vindue



Arbejdspladsens afstand fra nærmeste vindue for respondenterne. Langt den største del (93 %) af arbejdspladserne blandt respondenterne er placeret mindre end 2 meter fra det nærmeste vindue.

Lige som afstanden til nærmeste vindue, har arbejdspladsens placering på bygningens etager betydning for adgangen til dagslys.

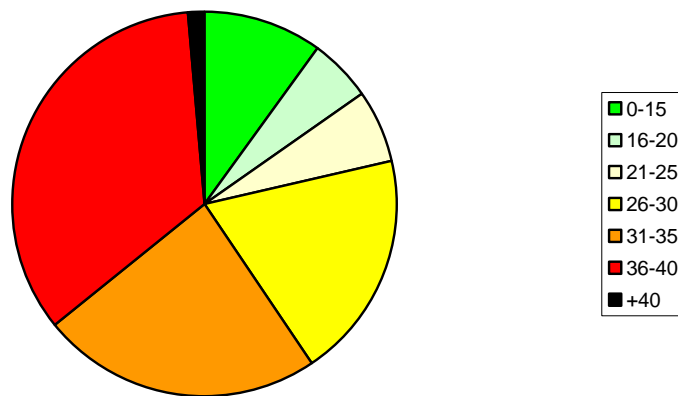
Etage



Arbejdspladsens placering på etagerne for respondenterne. Søjlerne højde viser antallet af arbejdspladser blandt respondenterne på den enkelte etage.

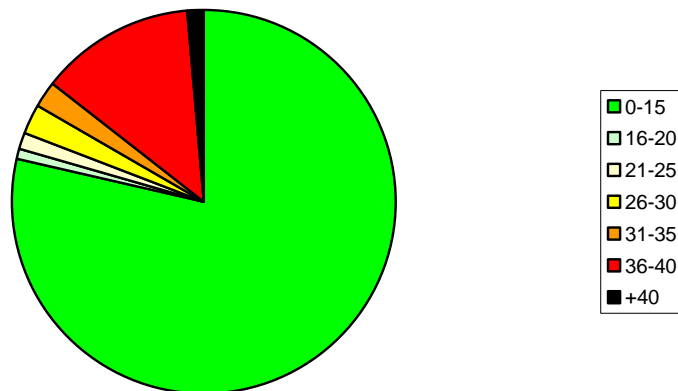
**Tid brugt i kontoret pr. uge**

arbejdstid i kontor



**Tid brugt i fælles/møderum pr. uge**

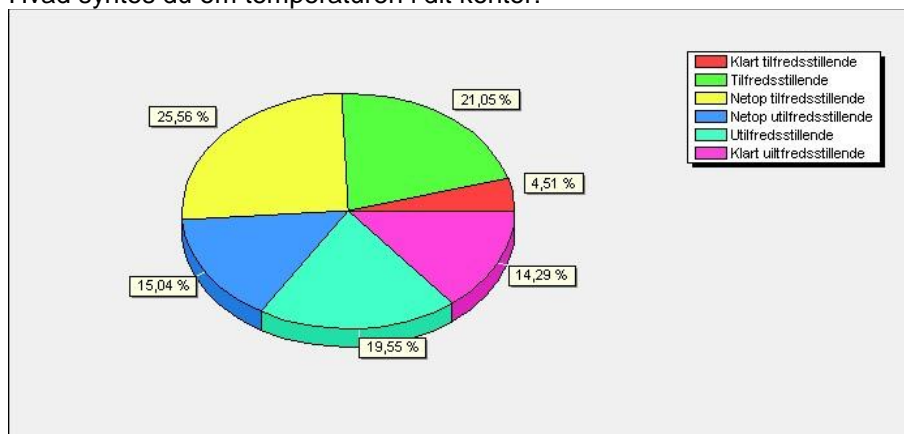
arbejdstid i mødelokaler



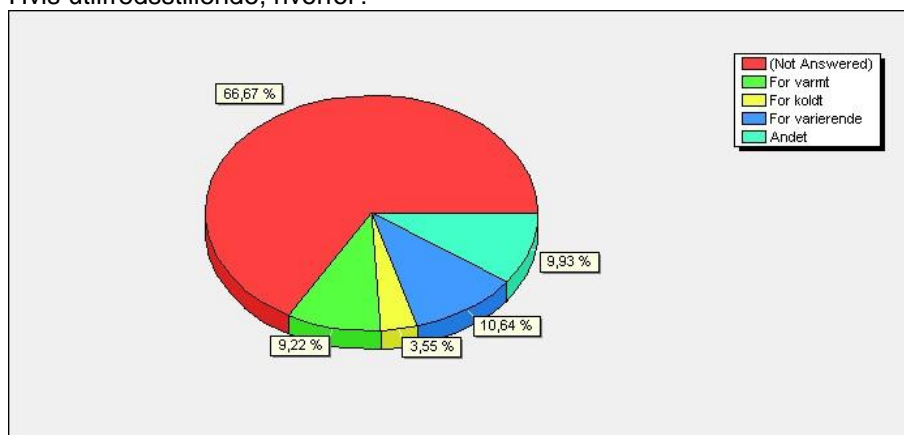
## Spørgsmål vedrørende indeklimaet i kontorerne

### Temperatur

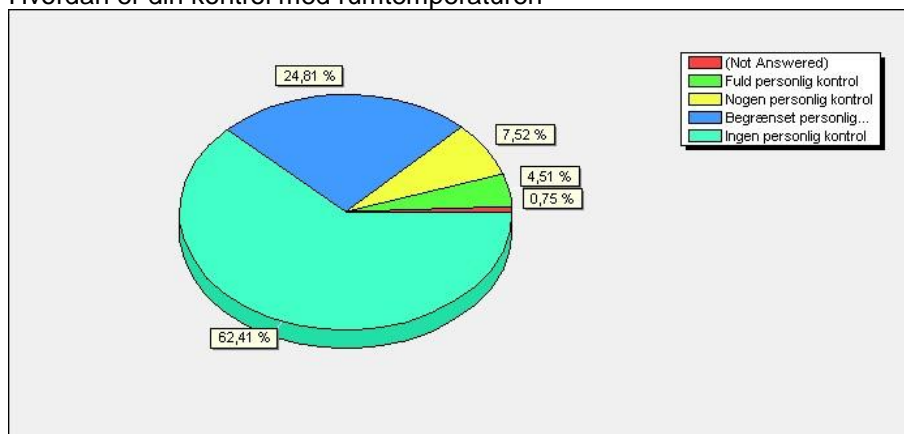
Hvad syntes du om temperaturen i dit kontor:



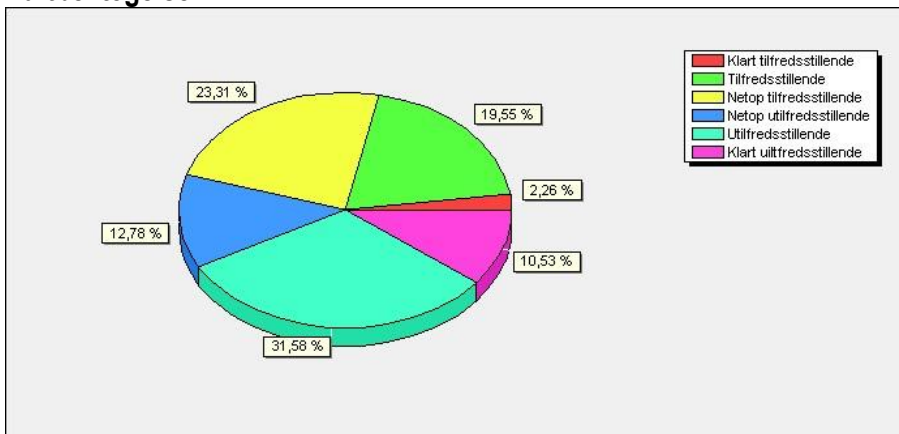
Hvis utilfredsstillende, hvorfor?



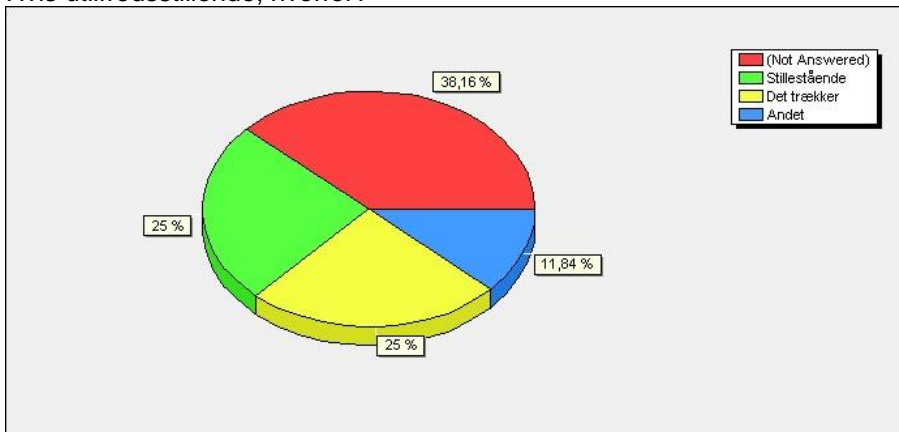
Hvordan er din kontrol med rumtemperaturen



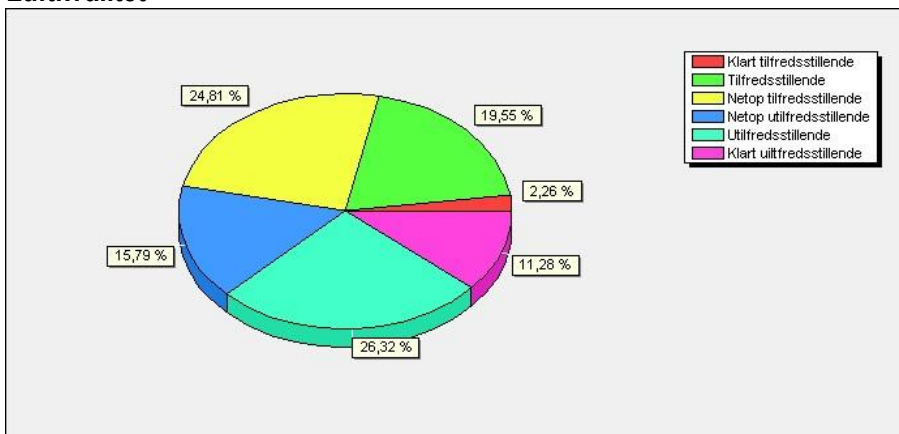
## Luftbevægelser



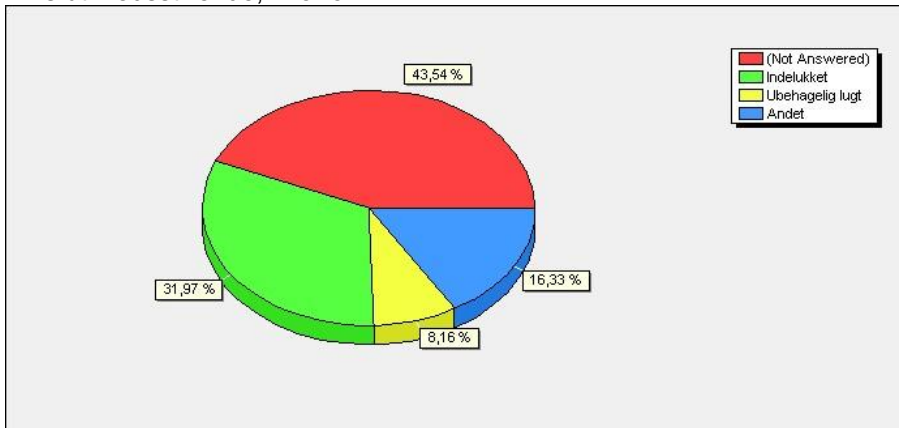
### Hvis utilfredsstillende, hvorfor?



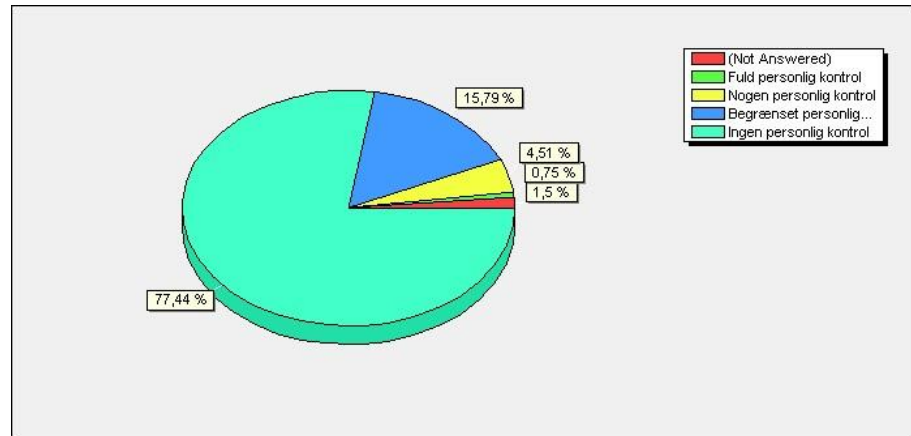
## Luftkvalitet



### Hvis utilfredsstillende, hvorfor?

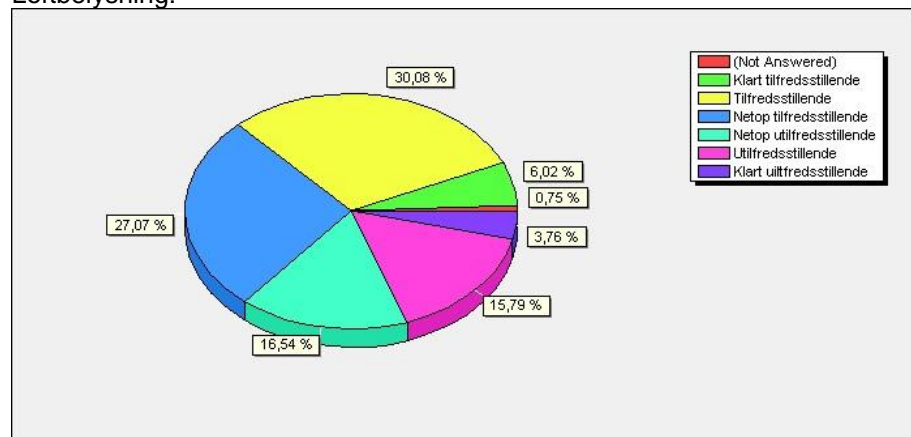


### Kontrol med Ventilationen

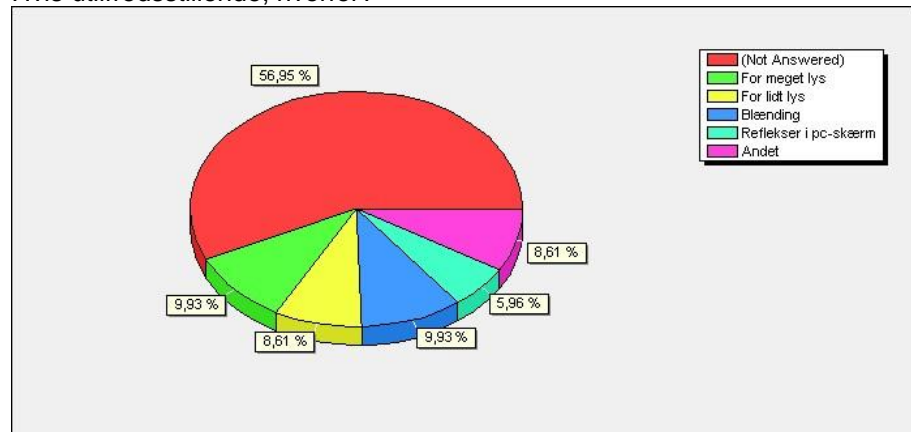


### Lys

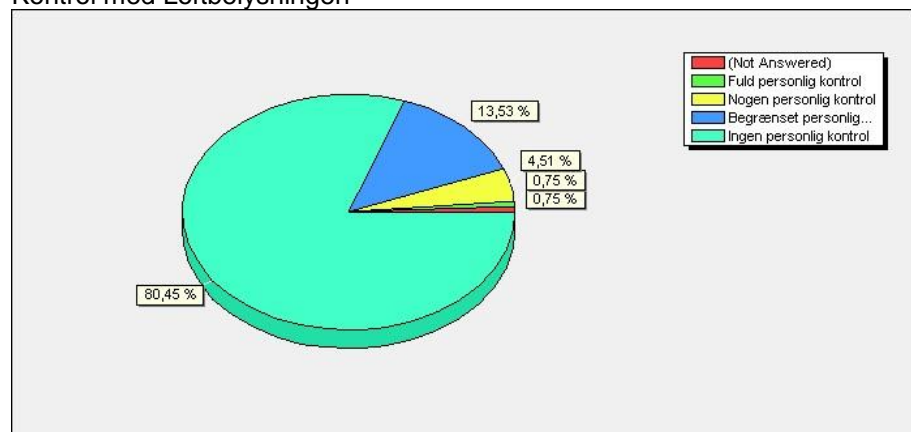
#### Loftbelysning:



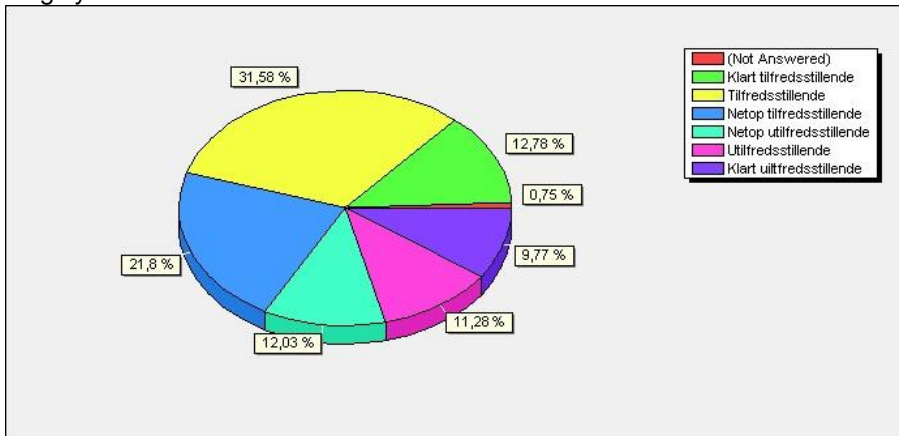
#### Hvis utilfredsstillende, hvorfor?



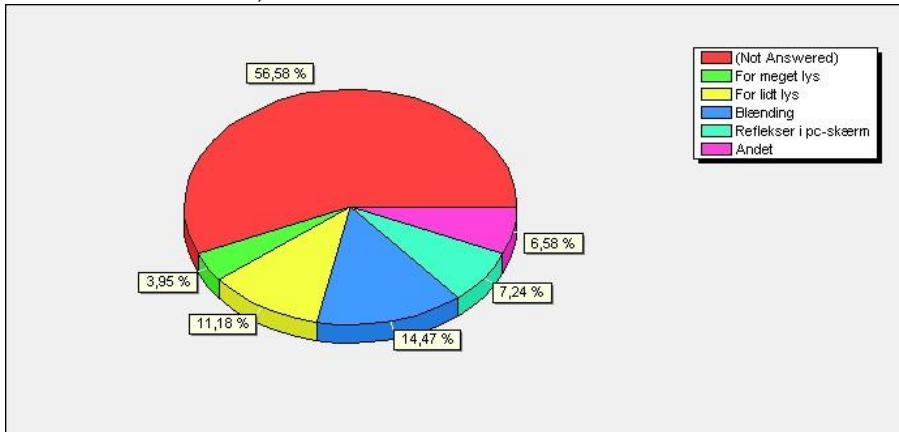
### Kontrol med Loftbelysningen



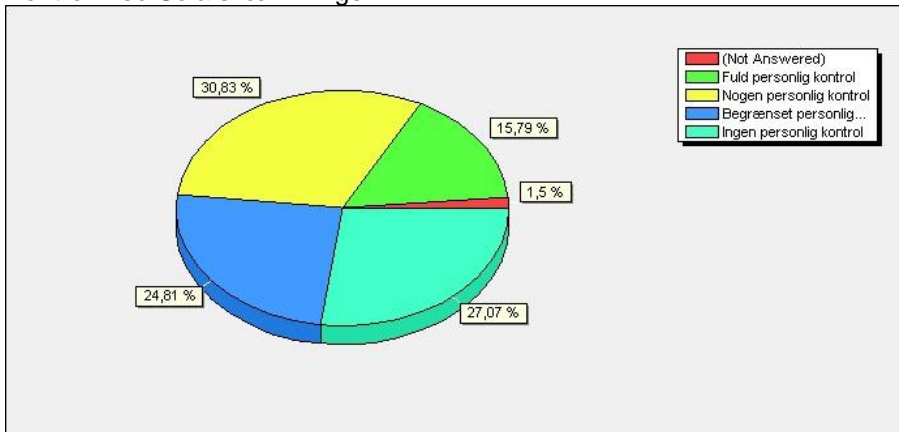
### Dagslys:



### Hvis utilfredsstillende, hvorfor?

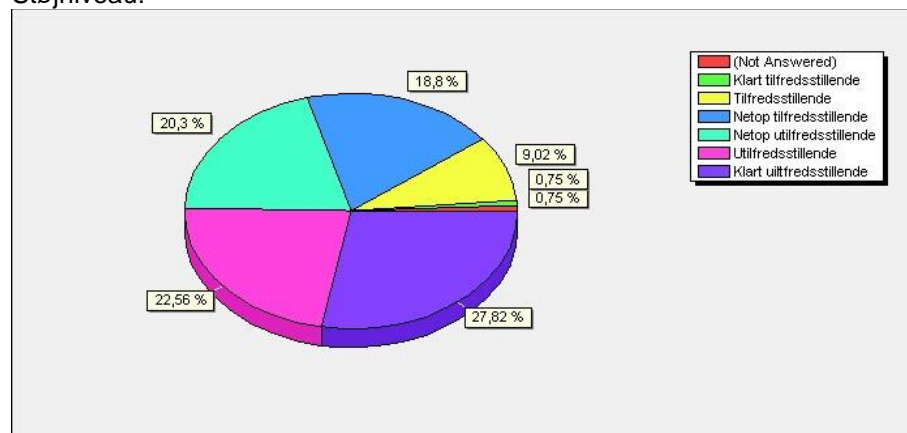


### Kontrol med Solafskærmningen

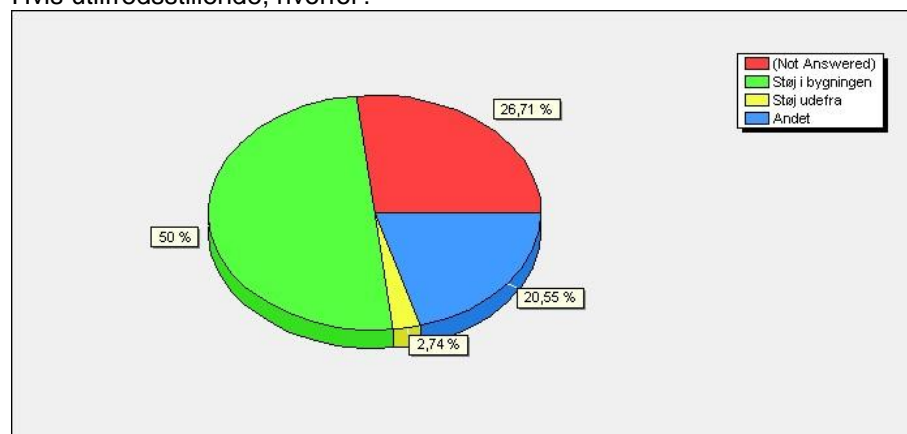


## Støj

Støjniveau:

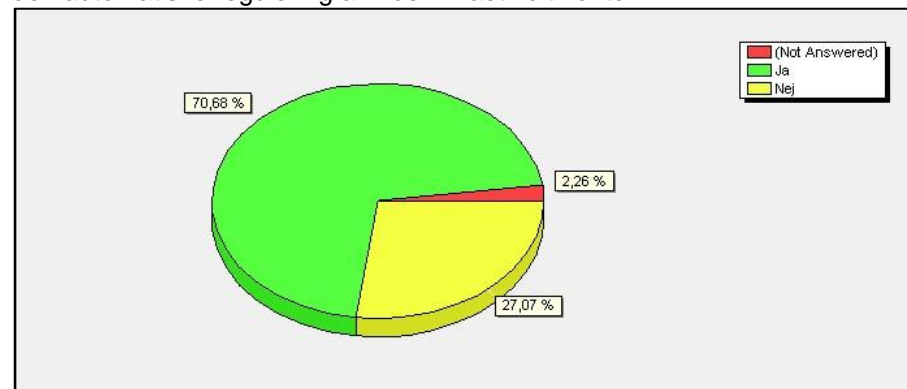


Hvis utilfredsstillende, hvorfor?

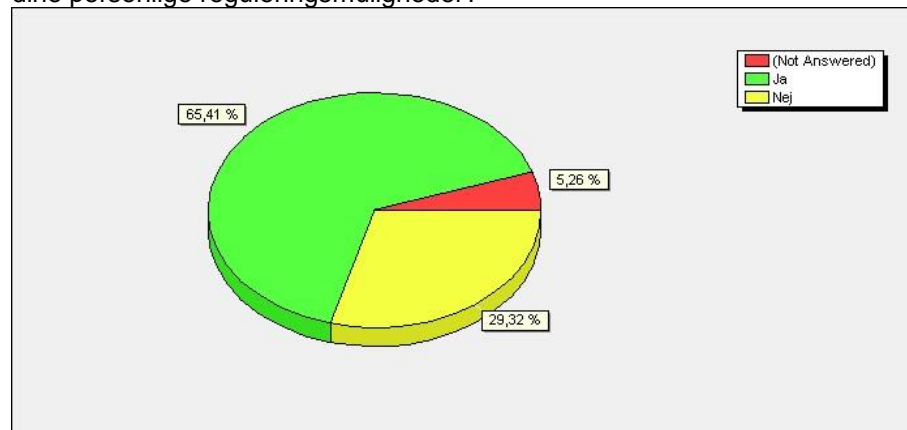


## Regulering

Er der typiske situationer eller tidspunkter, hvor du ikke er tilfreds med den automatiske regulering af indeklimaet i dit kontor?



dine personlige reguleringsmuligheder?





## Uddybende bemærkninger om indeklimaet i kontorerne

Bemærkningerne er gengivet uden indholdsmæssig redaktion og repræsenterer de ansattes meninger på tidspunktet for undersøgelsen.

- *Sidder i storrums kontor*
- *Især om sommeren, når man ikke kan lufte ud, idet kontoret er delt, så nogle sidder direkte i solen, og andre sidder i skygge. Det trækker på andre når man lufte ud, så der kan være meget varmt.*
- *Det er dybt utilfredsstillende at sidde i et åbent kontor, hvor temperaturen svinger fra den ene side til den anden, og man skal diskutere med kolleger om et vindue skal være åbent eller lukket, for det trækker.*
- *Det er ikke hensigtsmæssigt med storrums. Det larmer ofte i lokalet, der er meget trafik, dvs. folk der vader frem og tilbage. Derudover brydes tavshedspligten dagligt.*
- *Meget tør luft. Man bliver tør i halsen og øjnene svider/klør.*
- *Jeg fryser stort set hver dag, og luften er meget tør.*
- *For mange samlet i et kontor, temperaturen generelt for koldt, eller for indelukket.*
- *Loftsbelysning kan ikke kontrolleres.*
- *At arbejde i storrums er ikke tilfredsstillende, særligt om sommeren, når det er varmt er det et problem, hvor temperaturen er så høj at man ikke kan koncentrere sig. Om vinteren er der stor uenighed om, hvor varmt der skal være i rummet.*
- *Dagligt.*
- *Ofte om morgenen.*
- *Når det er koldt og mørkt*
- *Hvis jeg åbner vinduet for at få frisk luft ind, stiger temperaturen på mit kontor!!!*
- *For varmt - åbent vindue generer ofte andre i storrumsrummet.*
- *Jeg tror at luften er meget tør, Har haft mange problemer med røde øjne og det kommer typisk op af dagen for at hitte ved frokosttid. Forsvinder så sidst på eftermiddagen igen.*
- *Jeg kan fra min side oplyse at der altid er meget koldt og når jeg vil have lidt varmt så får jeg det helt varmt på mit kontor, hvorfor jeg med det samme får migræne/hovedpine.*
- *Kan ikke reguleres.*
- *Efter weekenden - bygning enten kold eller varm afhængig af årstiden.*
- *Må ikke reguleres.*
- *På storrumskontorer er der ingen mulighed for at finde sin egen personlige varmeregulering.*
- *Det er urimeligt varmt om sommeren, det er ikke sjovt at sidde i et glas-hus når der ingen udluftningsmuligheder er.*
- *Solafskærmning dur slet ikke.*
- *Dårlig luft, hvis vinduer åbnes er der trafikstøj.*
- *Det trækker ind i mellem, desuden kan solen blænde en smule pga dårlige persiener*
- *Støj. Manglende frisk luft (især problem med printere). Vinduer kan vanskeligt åbnes pga. træk og kulde - eller blæst om sommeren.*
- *Tørhed*
- *Sommer*
- *Støj, sollys*
- *Dårlig solafskærmning, træk, en blæsende kulde, underlige lyde, om sommeren ulideligt varmt, Det er ikke muligt at åbne vinduerne for så er der støj fra vejen, men generelt dårligt.*
- *Tør luft, giver irritation i øjne, næse mv.*
- *Træk, antal personer, lyset.*
- *For varmt om sommeren + blænding, for koldt om vinteren.*
- *Det er svært lige at lufte ud, hvis man trænger til lidt frisk luft. Enten har det ingen effekt eller også genere man andre. Tilsvarende kan det være et problem, hvis andre lufte ud.*

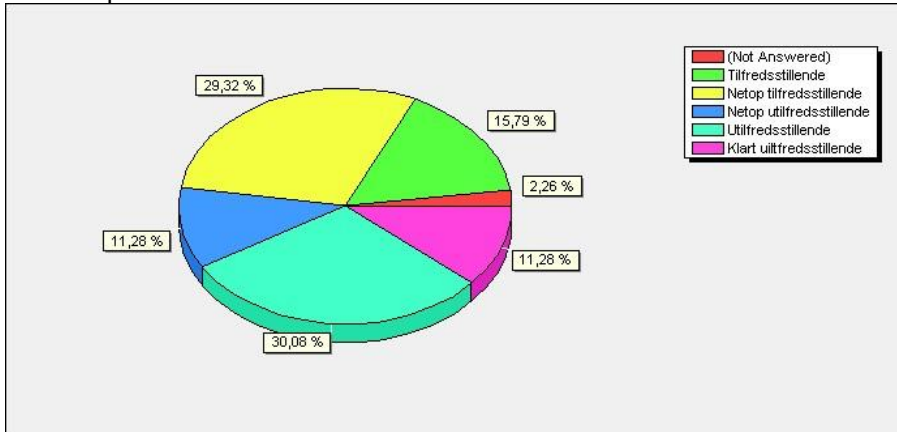
- Når vejret er varmt, er der også varmt i kontoret. Eneste mulighed for at regulere temperatur er ved at åbne vinduet.
- Om vinteren er det for koldt og om sommeren for varmt
- Det kan trække gevaldigt når andre lufter ud
- luften er alt for tør og nogle dage er der koldt
- Det er helt umuligt at finde en ordentlig temperatur, der passer alle. I det lokale, jeg sidder i, er der i den ene side kun varme på en radiator, mens de øvrige er kolde. Der er også udbredt træk fra luftkanaler i loftet.
- Det er koldt og det trækker meget
- blænding/refleks
- Hvis jeg arbejder uden for normal åbningstid, virker automatisk loftslys ikke - der er som regel også for koldt
- Jeg fryser tit men somme tider er der også så varmt, at luften bliver helt 'tyk'
- ved det mindste solskin
- svingende temperatur
- sollys i computerskærm, kan være koldt på en vinterdag uden mulighed for at skrue op for varmen. Kan være for varmt om sommeren, uden mulighed for aircondition.
- det trækker
- man kan lufte ud, men skal altid tage hensyn til andre i kontoret
- Anlægget var slukket og trods forespørgsler var der ingen som vidste hvordan vi skulle tænde det. Åbne vinduer kan heldigvis hjælpe i sensommer
- Det kan være for varmt eller for koldt, når man sidder i storrum og skal indordne sig
- Der er ind imellem meget indelukket.
- træk
- sommer-perioden, der skulle være aircondition når det er et glashus
- trækproblemer ved vinduet
- Overhovedet ingen mulighed for udluftning. Luften føles iltfattig og beklumret.
- Dette omhandler særlig varme eller kolde dage, hvor temperaturerne kan være meget varierende - meget koldt eller meget varmt.
- Det trækker og utroligt meget støj
- Det er ofte sådan at det opleves enten at være for varmt eller koldt.
- Der er enten for varmt og eller trækker det. Hvis folk har det varmt åbner de vinduerne hvorefter det trækker på os andre der sidder på den anden side af lokalet. Det mangler ventilationsanlæg!
- Fælt at sidde dagligt i en blanding af varme, sved og parfume.
- for meget larm
- når generelt er for varmt og ikke kan reguleres
- Hvis for mange personer taler med hinanden eller i telefon.
- Når det trækker. Når der er megen støj
- For varmt om sommeren
- når temperaturen udenfor falder meget fra dag til dag er der altid koldt den næste dag på kontoret
- for varmt
- Ja, ofte. Det er meget indelukket og når sommeren kommer, er der ulideligt varmt. Om vinteren trækker det fra vinduerne og der er meget koldt/køligt i rummet.
- kræver enighed med 'naboerne', da vi sidder i storrum
- Generelt er her ingen frisk luft, allerede når vi kommer om morgenen lugter der af indelukket luft (dårlig ånde fra dagen før) - og det bliver ikke bedre op af dagen. Omkring middagstid er luften så iltfattig at jeg gaber og får hovedpine.
- manglende udluftningsmuligheder medfører at det føles som der mangler ilt
- Når der er varmt udenfor, bliver der ulidelig hedt på kontoret

- Ingen vinduer kan åbnes, lyset kan ikke slukkes, og dagslyset kan ikke benyttes på grund af sort gardin, der automatisk ruller ned

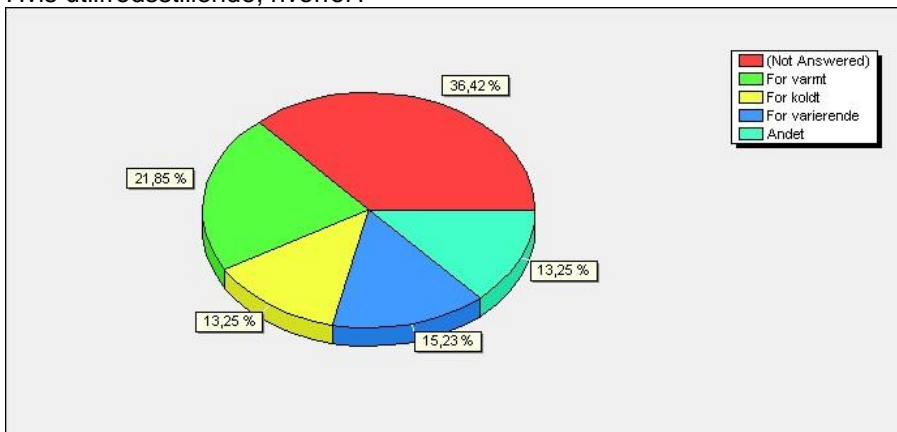
## Spørgsmål vedrørende indeklimaet i møderum/fællesrum

### Temperatur

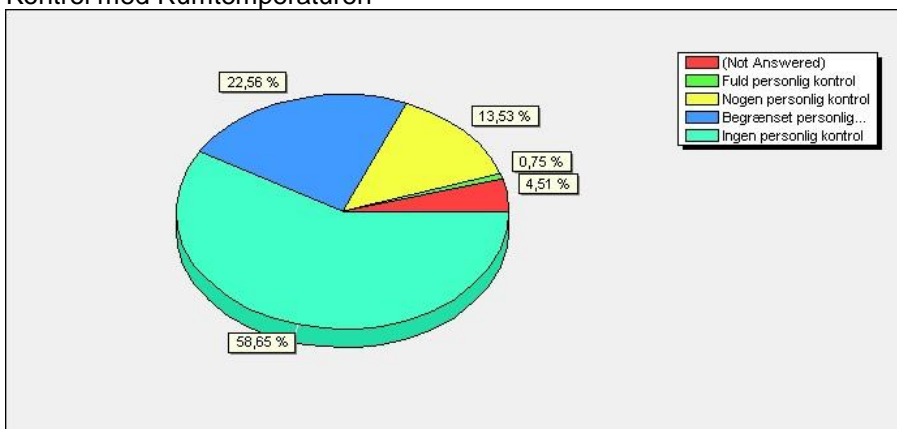
Rumtemperatur:



Hvis utilfredsstillende, hvorfor?

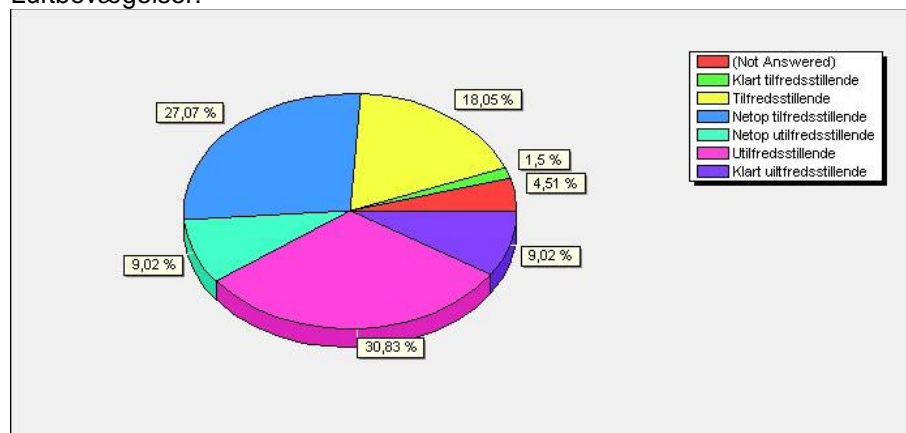


Kontrol med Rumtemperaturen

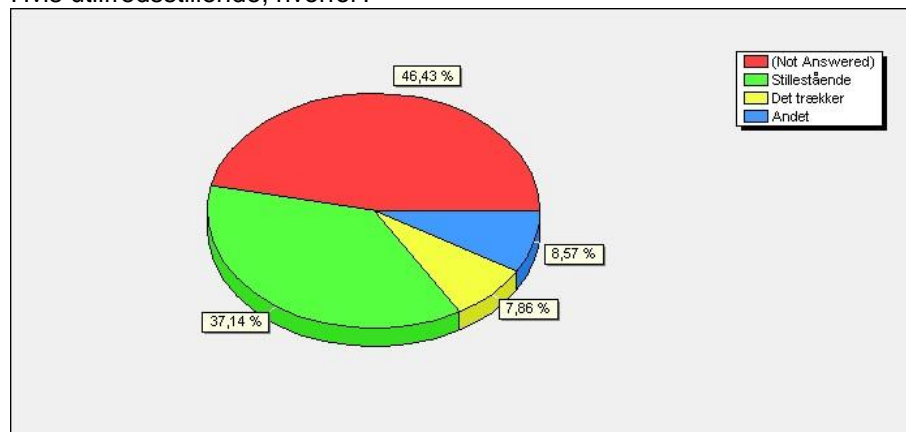


## Luftbevægelser

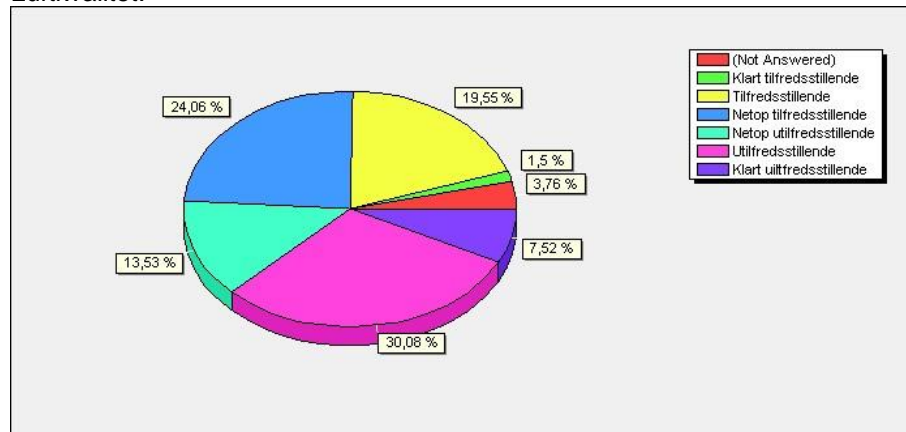
Luftbevægelser:



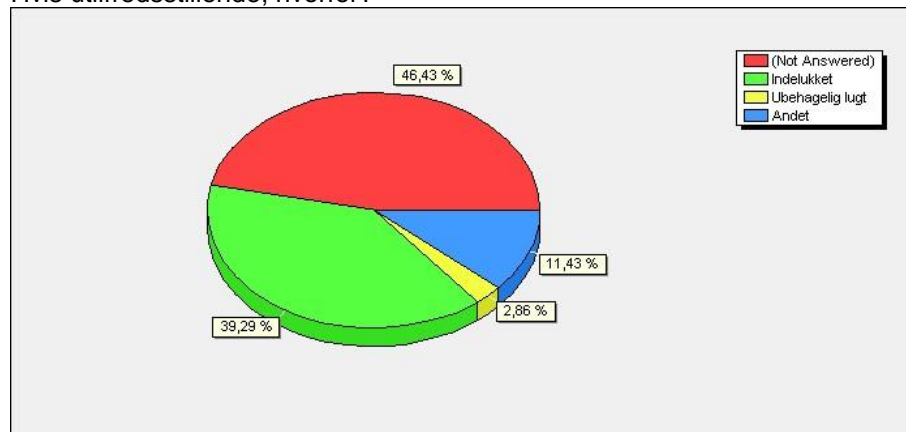
Hvis utilfredsstillende, hvorfor?



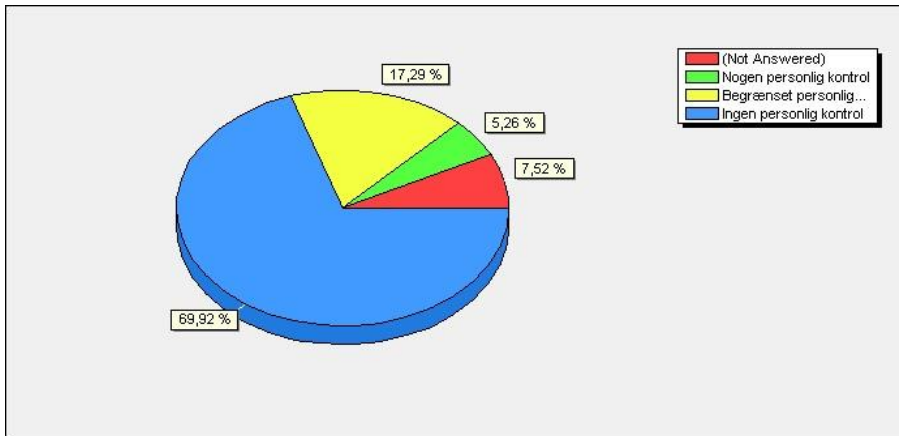
Luftkvalitet:



Hvis utilfredsstillende, hvorfor?

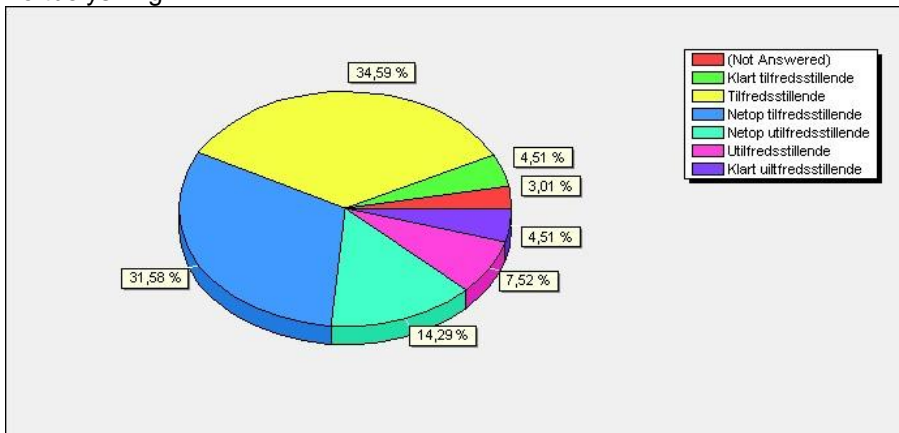


### Kontrol med Ventilationen

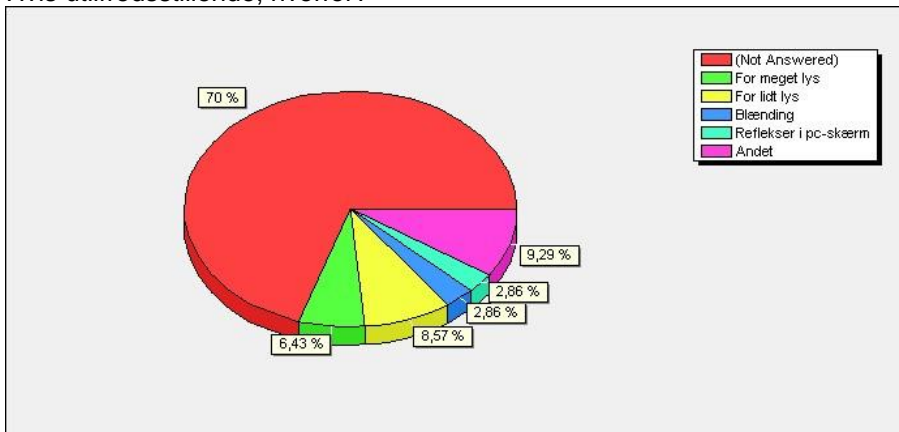


### Lys

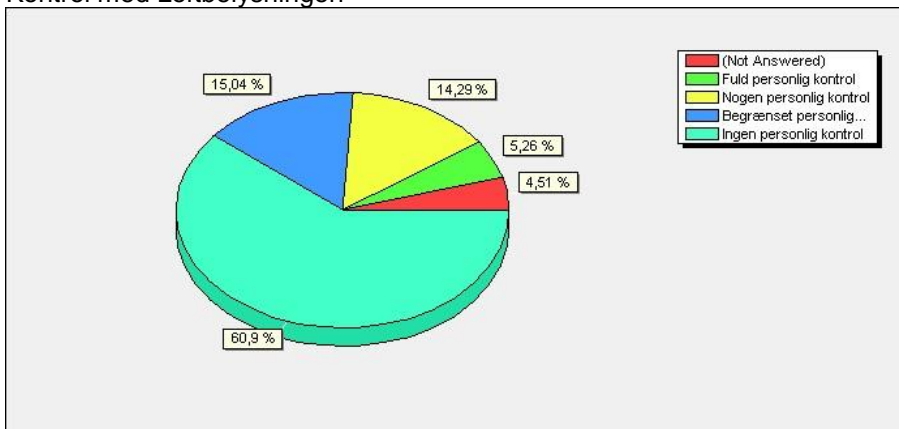
#### Loftbelysning:



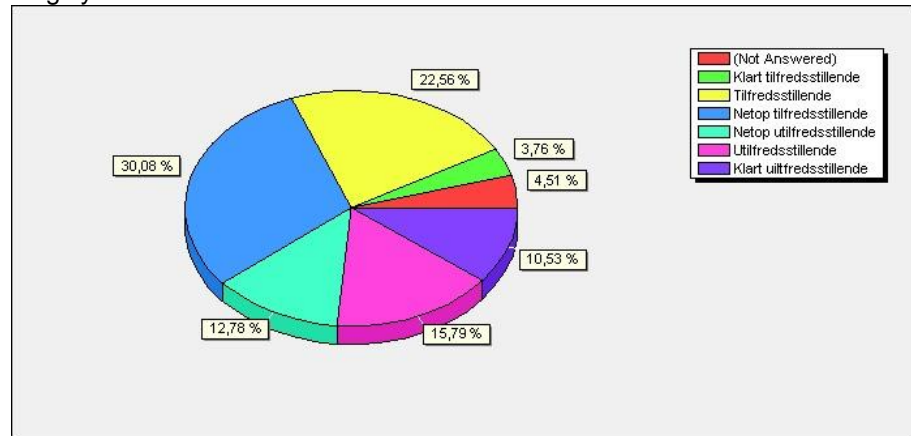
#### Hvis utilfredsstillende, hvorfor?



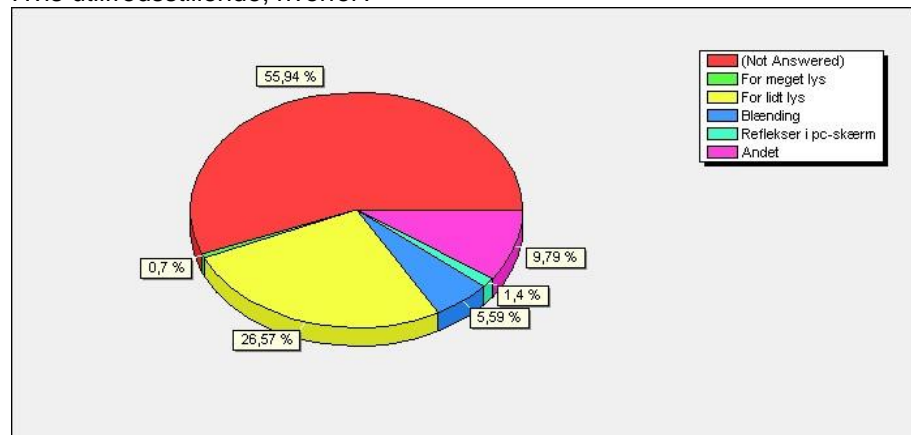
### Kontrol med Loftbelysningen



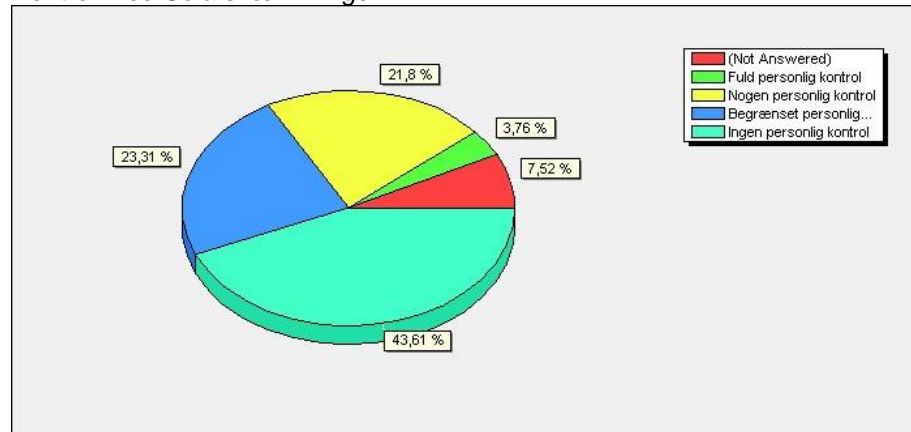
Dagslys:



Hvis utilfredsstillende, hvorfor?

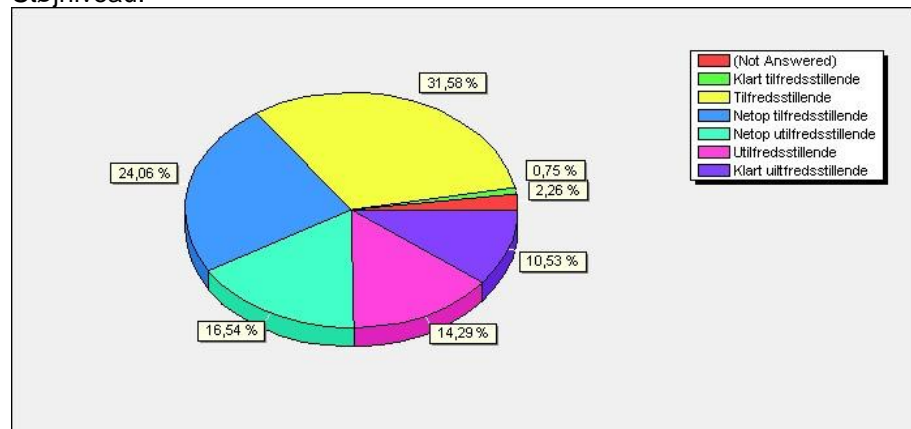


Kontrol med Solafskærmningen

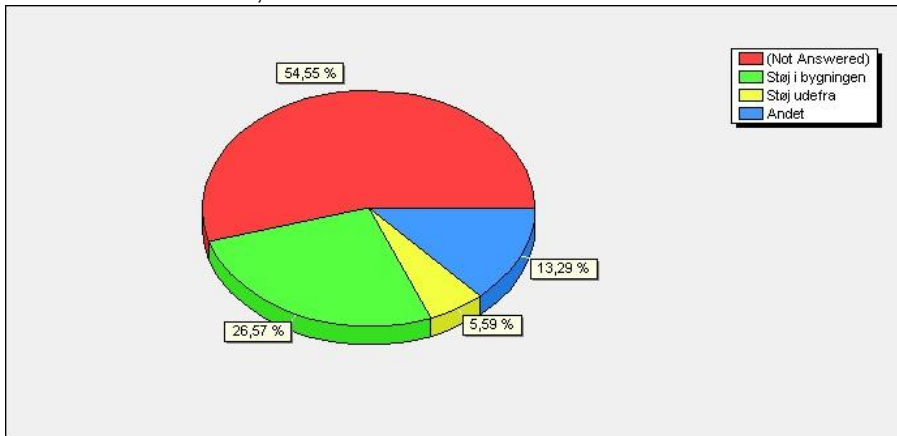


Støj

Støjniveau:

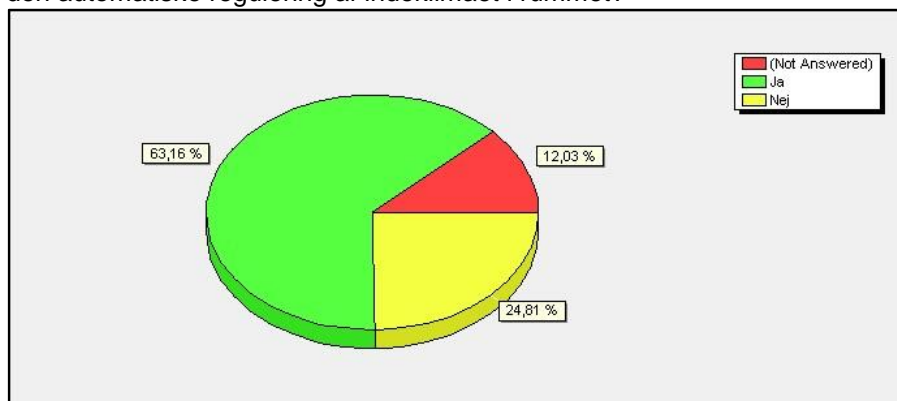


Hvis utilfredsstillende, hvorfor?

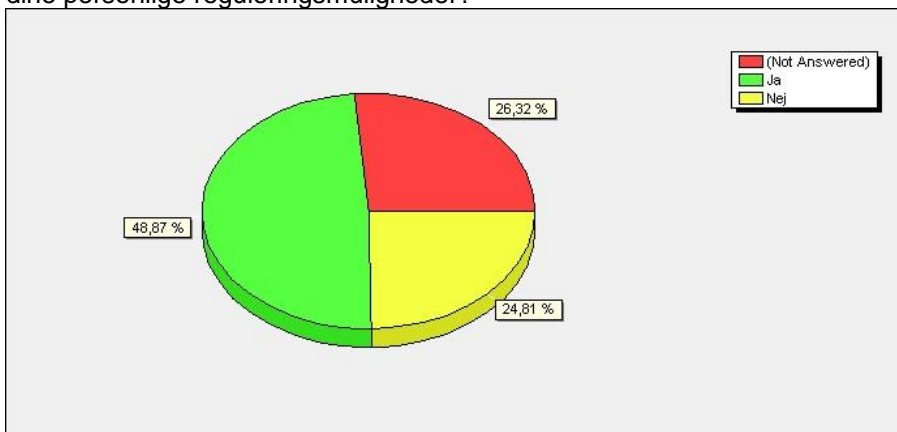


## Regulering

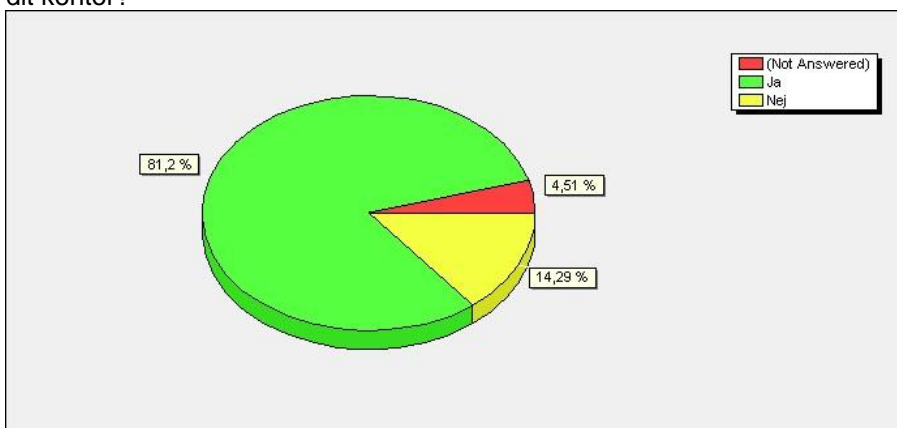
Er der typiske situationer eller tidspunkter, hvor du ikke er tilfreds med den automatiske regulering af indeklimaet i rummet?



dine personlige reguleringsmuligheder?

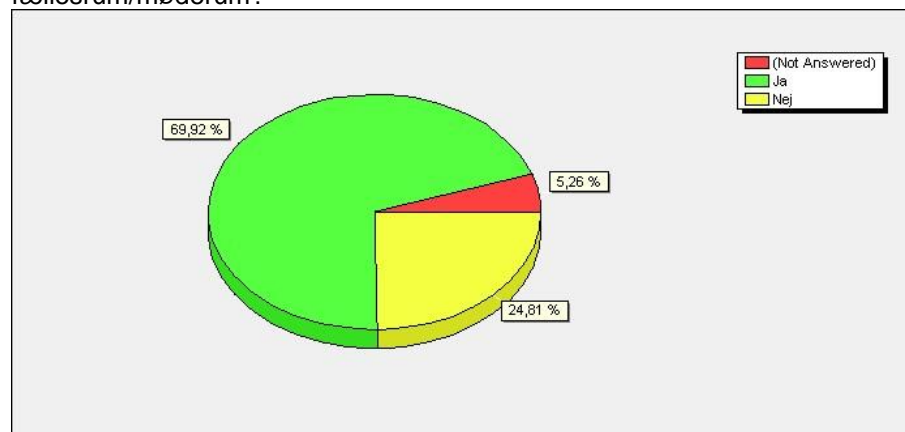


Er der situationer eller tidspunkter, hvor du ikke er tilfreds med indeklimaet i dit kontor?



## Generelt

Er der situationer eller tidspunkter, hvor du ikke er tilfreds med indeklimaet i fællesrum/møderum?



## Uddybende bemærkninger om indeklimaet i møderum/fællesrum

Bemærkningerne er gengivet uden indholdsmæssig redaktion og repræsenterer de ansattes meninger på tidspunktet for undersøgelsen.

- f.eks. når solen er på i den ene side og de gerne vil have åbne vinduer trækker det over på os i den anden side.
- Det bliver hurtigt en dårlig luft i mødelokalerne.
- Ofte er der for mange samlet på for lidt plads. Så bliver luften meget hurtigt tung.
- Meget tør luft. Man bliver tør i halsen og øjnene svider/klør.
- For koldt. Dunkel belysning
- Hvis der i mødelokalerne holdes møder udover 1 timer, er luften alt for tæt og dårlig
- især i samtalerum er indeklimaet meget dårligt, nærmest iltmangel
- Hvis der åbnes vinduer i lokalet trækker det et andet sted, derfor er det umuligt at få god luft i lokalet
- Ikke mulighed for frisk luft
- Når det er koldt og mørkt. Eller meget lyst
- som ovenfor
- for koldt
- det bliver meget hurtigt varmt i møderum + de ofte er mørke og virker dystre pga. placering mod mørk lysgård
- For meget støj kan ikke koncentrere mig ifm. med mit arbejde
- Ingen reguleringsmuligheder - som regel alt for varmt og ingen udluftning
- Efter weekenden - bygningen enten kold eller varm afhængig af årstiden
- Problemet er storrumskontor, hvor det altid er laveste fællesnævner, der bestemmer indeklimaet. Udluftning og temperatur er der svært at enes om.
- Det er ikke muligt at koncentrere sig i høj varme med en sol lige i ansigtet, mødelokalerne ud til midten bliver ramt af solen.
- Dårligt indeklima
- For varmt i rummene på 3 og 4 sal og manglende udluftning. Koldt og mørkt ved kantinen.
- for koldt/ møderum ved kantinen
- for koldt
- koldt i kantinen og det trækker ved kafemiljøet
- Dårlig luft
- Det bliver altid for varmt.
- Det er for koldt i kantinen.
- Når vejret er varmt, er der også varmt i kontoret. Eneste mulighed for at regulere temperatur er ved at åbne vinduet.
- Der er generelt alt for stillestående luft

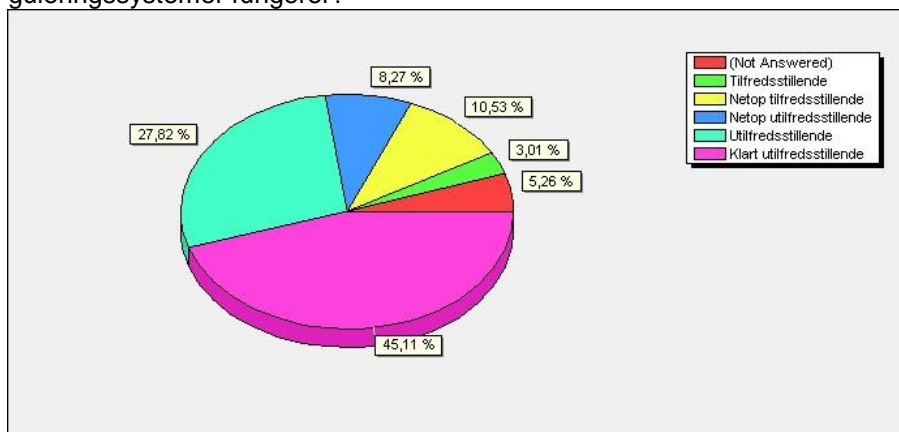


- Tit meget koldt i kantinen og møderummene ved kantinen.
- Hvis vi er mange i fællesrummene kan der opstå situationer, hvor der er for varmt og hvor det føles som om luften bliver for tung
- når der er mange i lokalet
- der bliver hurtigt varmt og indelukket
- kan være for koldt/varmt uden mulighed for aircondition
- det trækker
- Kantinen er meget kølig kræver ekstra påklædning
- det bliver nemt for koldt eller for varmt
- For varmt - luft ikke frisk
- I nogle af rummene ingen mulighed for udluftning eller regulering af lys-indfald.
- Særligt eftermiddage, hvor luften bliver meget tung.
- Der er meget tæt og mørkt. Desuden kører de automatiske persienner op og ned efter forgodtbefindende
- svært at regulere temperatur – sollys
- når generelt er for varmt og ikke kan reguleres
- for små og indeklemte rum, men god støjdæmpning
- Møderummene bliver "iltfattigt" - tætte og varme
- når mødet trækker ud er luftsiftet utilstrækkeligt
- for varmt
- Ja, ofte. Det er meget indelukket og når sommeren kommer, er der ulideligt varmt. Om vinteren trækker det fra vinduerne og der er meget koldt/køligt i rummet.
- Når vi er til møde er det lige som at sidde i et vakuum, der er alt for varmt og indelukket
- Der bliver alt for hurtigt indelukket
- lyset kan ikke slukkes, og sort rullegardin afskærmer dagslyset

## Generelle spørgsmål om bygningens systemer

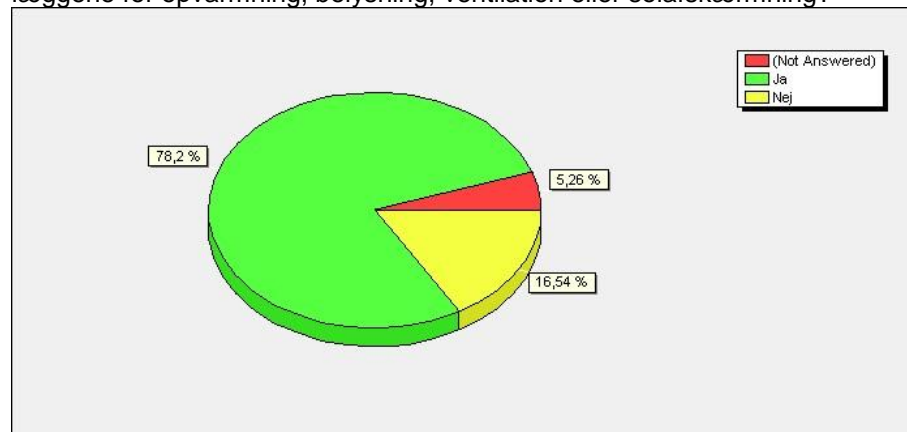
### Informationer til medarbejderne

Hvordan er vejledningen og informationen om, hvordan de automatiske reguleringsystemer fungerer?

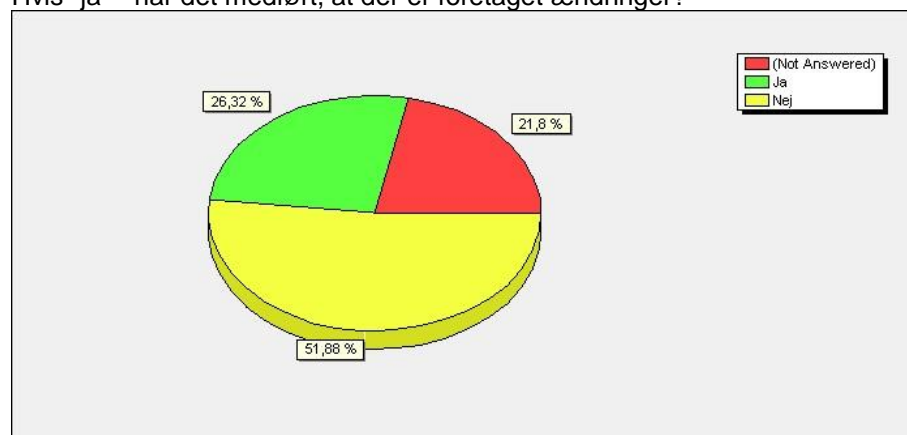


## Ændring af styringen

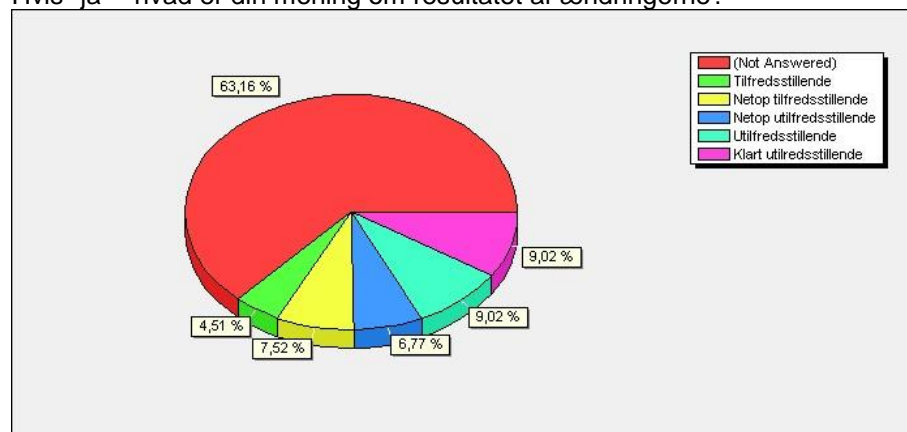
Har du, eller dine kolleger, nogensinde udtrykt ønske om at få ændret på anlæggene for opvarmning, belysning, ventilation eller solafskærmning?



Hvis "ja" - har det medført, at der er foretaget ændringer?



Hvis "ja" - hvad er din mening om resultatet af ændringerne?



## Generelle bemærkninger om indeklimaet i bygningen

Bemærkningerne er gengivet uden indholdsmæssig redaktion og repræsenterer de ansattes meninger på tidspunktet for undersøgelsen.

- Når der sidder 18 personer i det samme rum, er der daglige problemer i form af træk, støj herunder støj når folk taler i telefon eller med kollega, eller bare går hen over gulvet med lædersåler under skoene.
- Når solen skinner og varmer i den ene side af storrummet, vil kollegerne der gerne have vinduerne åbne, men det er tit forbundet med træk for kollegerne i den modsatte side af lokalet
- Åbne kontorlandskaber er ikke egnet for personer, der skal lave individuelle opgaver og koncentrere sig om sine opgaver.
- Andre kollegers klienters problemer er komplet uinteressant for mig.

- Åbne kontorlandskaber har Fanden skabt!
- Jeg synes generelt at der er for koldt i huset, og det er meget svært at regulere varmen så den bliver 'normal' og ikke for varm.
- Lydforholdene i storrømmet er utilfredsstillende. Tlf.samtaler kan ikke føres uforstyrret og uden at forstyrre andre. Der er kuldebroer v. nogle vinduesarbejdspladser.
- Støjafskærmning/dæmpning i storrøm er utilfredsstillende
- Problemer med røde øjne, men ellers er det vel OK på nær alt det med larm.
- Problemet er lokaler, hvor man slet ikke kan se vejforhold udenfor - vindue mod anden fløj
- Om vinteren for koldt i kantinen
- Jeg kan oplyse at jeg lider af migræne og har svært ved at koncentrere mig i storrøm pga. støj og dårlig indeklime altså for meget lyst og lugt. Jeg synes ikke at jeg får noget frisk luft.
- Indeklima kan ikke tilpasses den enkelte, på grund af at det er storrums-kontorer
- Jeg har besvaret spørgsmålene vedrørende kontor med de samme svar som for fællesrum, da jeg ikke kunne slette indtastningerne.
- Det er vist ikke nødvendigt at bruge tid på, når der engang bliver gjort noget ved problemerne, er jeg vist ikke placeret her men på amtsgården. Mener det er en stor fejl at konstruere en bygning som denne og så ikke indbygge aircondition.
- Solafskærmning: Man er nødt til selv at hænge sække mv. op for at afskærme mod solen, da persiennen er forsynet med små huller, så de ikke skærmer for solen, når den står direkte på. Udsugning/træk: Visse steder er der blevet stoppet ting op i udluftningen.
- Information om styring af indeklime? Det har vi aldrig modtaget.
- Solafskærmningen er for dårligt, Møderum/stille ved lav sol bliver man blændet.
- Selv om vi har påpeget problemer flere gange, virker det ikke som om de tiltag der foretages hjælper.
- Tager man og mærker på alle radiatorerne på en række, så oplever man, at det er meget forskelligt hvilke der varmer og hvilke der ikke varmer. De virker ikke som de skal og det blive påtalt kort efter indflytningen.
- Det er klart utilfredsstillende, at der er så svingende temperaturer - både mellem dagene og i de forskellige dele af lokalet.
- Storrumskontorer er noget lort!
- Vi mangler aircon.
- Indeklima er ikke kun de tekniske installationer, det er i høj °C også det antal personer der er i lokalet og den deraf følgende uro, som nedsætter produktivitet især med opgaver hvor der skal formuleres til større skriv/rapporter. Bedst efter kl 15.
- Generelt er jeg meget glad for at sidde i et storrøm. Savner ikke at have mit eget kontor.
- Støjgenere med 'ventiler' i taget der stod og klappede, - er blevet udbedret, og det var dejligt.
- gør noget ved trækproblemerne
- Der er utrolig tæt i møderum/stillerum. Så tæt at man har behov for at lade døren stå åben for at få luft. Idéen med at kunne arbejde i fred og ro forsvinder dermed. Vi sidder generelt meget tæt og i støj.
- Det er en dybt ubehagelig oplevelse at skulle arbejde i et storrumskontor med malt for meget træk og støj. Lige til at blive syg af. Både psykisk og fysisk.
- aldrig set vejledning
- Yderst utilfredsstillende med fælleskontorer. Det slider meget psykisk at skulle bruge koncentration til at holde lyde ude, så jeg kan koncentrere mig om arbejdsopgaverne
- Der er gået for lang tid, hvor der ikke er sket nogen regulering af klimaet.

- *Storrum betyder larm og forstyrrelser men man har til gengæld let til sparring med kollegerne.*
- *Mere rengøring, mindre støv og lugt. Mere støjdemping. Ingen gennemgang*
- *den anførte 'iltmangel' medfører ofte hovedpine og manglende koncentration efter klokken 13 - 13.30*
- *Jeg lider meget af hovedpine, og det er derfor meget generende, at man aldrig kan blive fri for det skarpe loftlys og nyde godt af det mere naturlige dagslys fra vinduerne*

## Bilag 7 Målinger i demonstrationsbygning

I nærværende bilag gennemgås målinger foretaget efter indflytningen ult. 2005. Som baggrund for at forstå variationer i tallene er det nødvendigt at være bekendt med den omlægning af diverse funktioner, der skete efter ibrugtagningen.

|      |                          | Familie | Beskæft. | Børn/unge | Skat | I alt |     |                                  |
|------|--------------------------|---------|----------|-----------|------|-------|-----|----------------------------------|
| 2005 | okt.                     |         | 0        | 0         |      | 350   | 350 | indflytning                      |
| 2006 | feb.                     |         | 55       | 105       |      | 350   | 510 |                                  |
|      | nov.                     |         | 55       | 105       |      | 350   | 510 |                                  |
| 2007 | marts                    |         | 55       | 105       |      | 190   | 350 | udflytning                       |
|      | juni                     |         | 55       | 105       |      | 190   | 350 |                                  |
|      | juli                     |         | 55       | 105       |      | 0     | 160 | ferie afholdes løbende           |
|      | aug.                     |         | 55       | 105       | 200  | 0     | 360 | løbende indflytning (gennemsnit) |
|      | sep.<br>og efterfølgende |         | 55       | 105       | 400  | 0     | 560 | indflytning afsluttet            |
| 2008 | som sep. 2007            |         |          |           |      |       |     |                                  |

Blandt andet på grund af centraliseringen af Skat blev anvendelsen af bygningen ændret kort tid efter indflytningen. Fra starten af 2007 skete der en udflytning, der resulterede i at antal personer, der arbejdede i bygningen gik fra 510 til 350 (marts 2007) og ned til 160 (delvis pga. sommerferie).

I september 2007 var huset igen fyldt op med nu i alt 560 personer og anvendelsen af bygningen har været uændret siden da.

De målinger, der er anvendt i undersøgelsen, stammer fra perioden efter sep. 2007.

### Forbrug

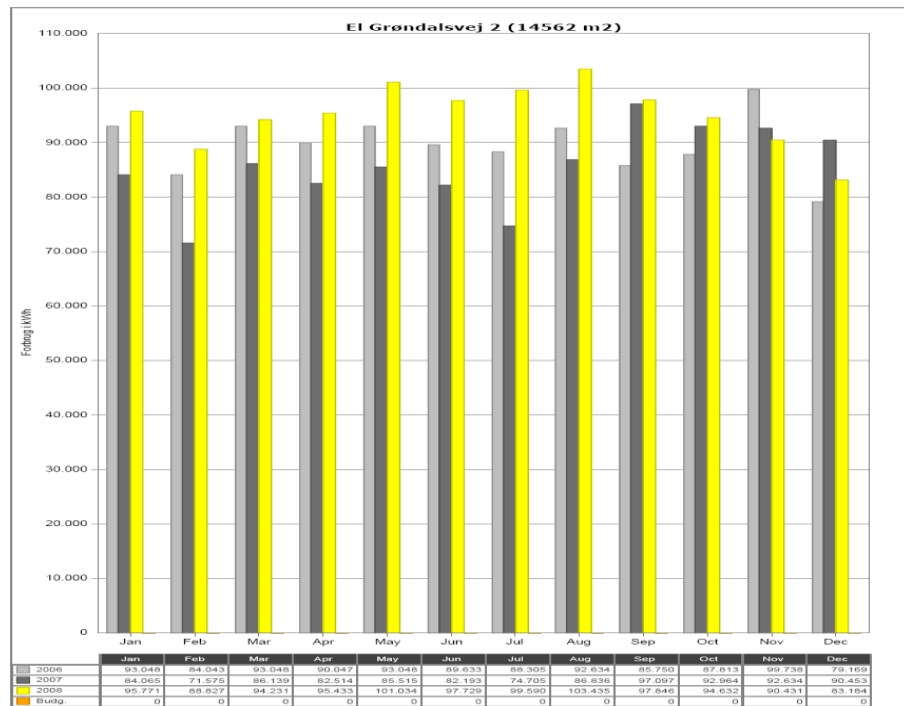
Der registreres forbrug på følgende hovedmålere

- El
- Varme
- Koldt brugsvand

### Hovedmåler, måneds aflæsninger

Kommunen genererer histogrammer pr måned, der kan sammenlignes med tidligere perioders forbrug. Disse tal svarer til hovedmåleren.

I udvalgte perioder er med bistand af elforsyningen logget elforbrug på hovedmåleren.



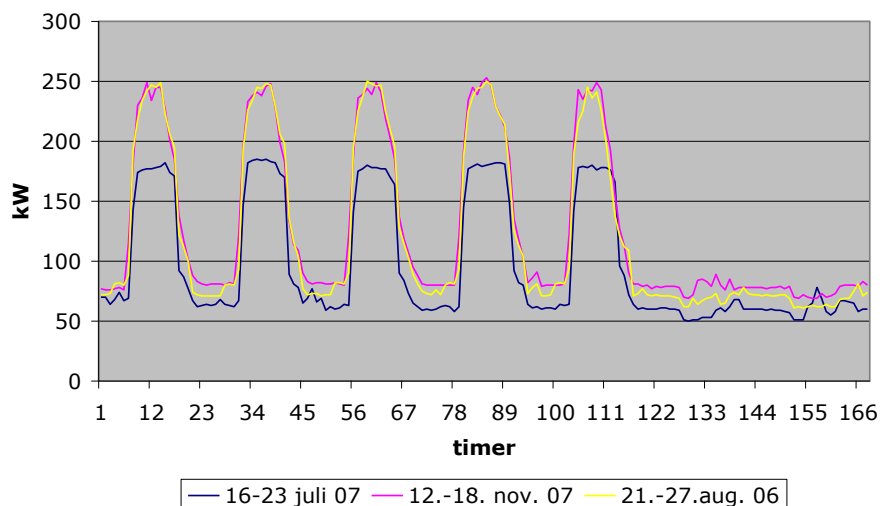
Diagrammet viser elforbrug pr måned 2006-2008.

Det ses at forbruget ligger jævnt henover årene uden at variere meget måned for måned. I 2008 er der dog en lille stigning henover sommeren og en nedadgående tendens i efterår/vinter.

Nedgang i antal medarbejdere i sommeren 2007 reducerer kun forbruget en smule.

## Hovedmåler, logninger

Der er, med hjælp fra det lokale elselskab Viby Elværk, logget elforbrug i udvalgte perioder over 1 uge.

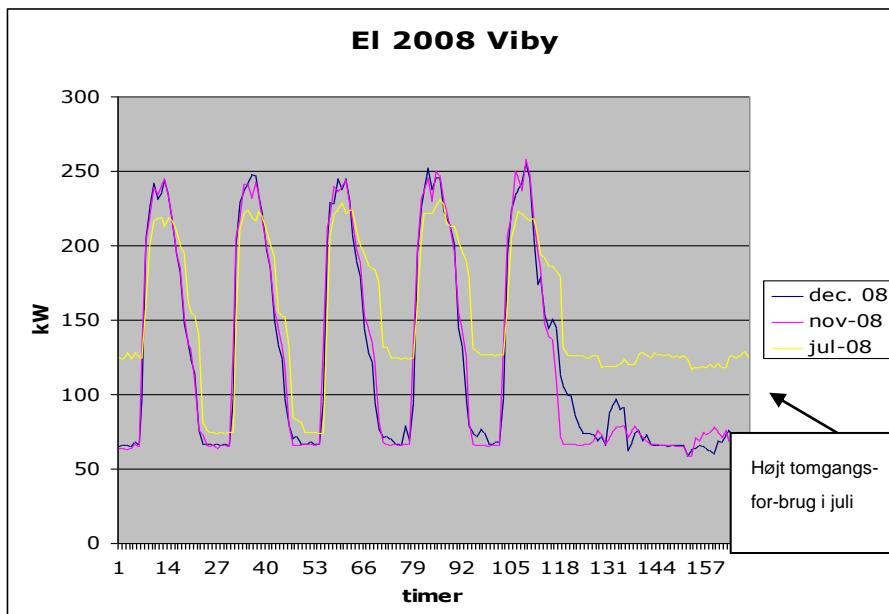


Effekt logget pr time i 3 forskellige uger i 2006 og 2007 – sommer og efterår.

I juli 2007 var der det laveste antal medarbejdere i bygningen siden ibrugtagningen – ca. 1/3 af det normale antal. Dette slår kun delvis igennem i forbruget, hvilket især skyldes at belysning og ventilation kører næsten uændret videre. I storrumskontorerne kan man ikke reducere belysningen og behovet for ventilation er øget pga. af meget solindfald og høje udetemperaturer.

Elforbruget til servere er som det ses efterfølgende næsten konstant uanset antal brugere.

Bygningens tomgangsforbrug ligger på ca. 70-80 kW - udenfor sommerperioden - svarende til ca. 5 W/m<sup>2</sup>. Det er lidt højere end i 2008 (se næste side).



Elforbrug logget pr time i 3 forskellige uger i 2008 – sommer, efterår og vinter

Det fremgår at der i juli har været konstant drift på nogle af installationerne i start og slut af perioden. Max. forbruget (PAF) er reduceret ca. 10 % pga. ferie.

Bygningens tomgangsforbrug ligger på ca. 70 kW - svarende til 4-5 W/m<sup>2</sup>. Det maksimale forbrug er ca. 250 kW - svarende til ca. 17 W/m<sup>2</sup>. Arealerne er bruttoareal inkl. kælder.

Da det er timeværdier vil øjebliksværdierne ligge en smule højere, men ud fra bygningens størrelse vurderes det, at dette tillæg vil udgøre nogle få procent.

## Bimålere

Tabeller fra CTS-anlægget kan genereres i valgfri perioder fra 1 dag til 1 år ud fra CTS anlæggets registrering af bimålerne.

### Bimålere, døgnforbrug – logninger med CTS anlæg

Der er i perioden 2006.02.15 – 2008.11.10 registreret døgnforbrug på alle bimålerne. Ved en sammenlægning af tallene får man ikke det samme forbrug, som hovedmåleren (se ovenfor) viser. I perioden sep. 07-08 viser en sammentælling af bimålere på CTS et forbrug på 712 MWh, hvor hovedmåleren viser 1165 MWh.

- Dette kan bl.a. forklares ved:
- bimålere har intet forbrug,
- de 2 elevatorer bruger 7-800 kWh. Det forekommer meget lavt (faktor 10-100 for lidt),
- køkken-kantine har et forbrug på ca. 1500 kWh. Det er meget lavt,
- målere på serverrum er ikke med, bortset fra serverkøling. Bl.a. er der efter ibrugtagning af bygningen installeret flere udtag til serverne. Forbruget her er ca. 180 MWh/år (baseret på direkte måleraflæsninger),
- der måles ikke elforbrug på brandventilation, lyn- og transientbeskyttelse og sprinkleranlæg,

- der er perioder, hvor der har været problemer med dataopsamlingen. Der mangler forbrug i det samlede årsforbrug i disse perioder – i alt 2-3 uger,
- der er altså et ikke-bimålt forbrug omkring 200 MWh/år, når der kompenseres for servere og udfald på målerregistrering.

#### Benævnelser af bimålere:

De bimålere, der indgår i målingerne er benævnt efter anvendelse og placering fx. EI 33 GT5.10 Alm.

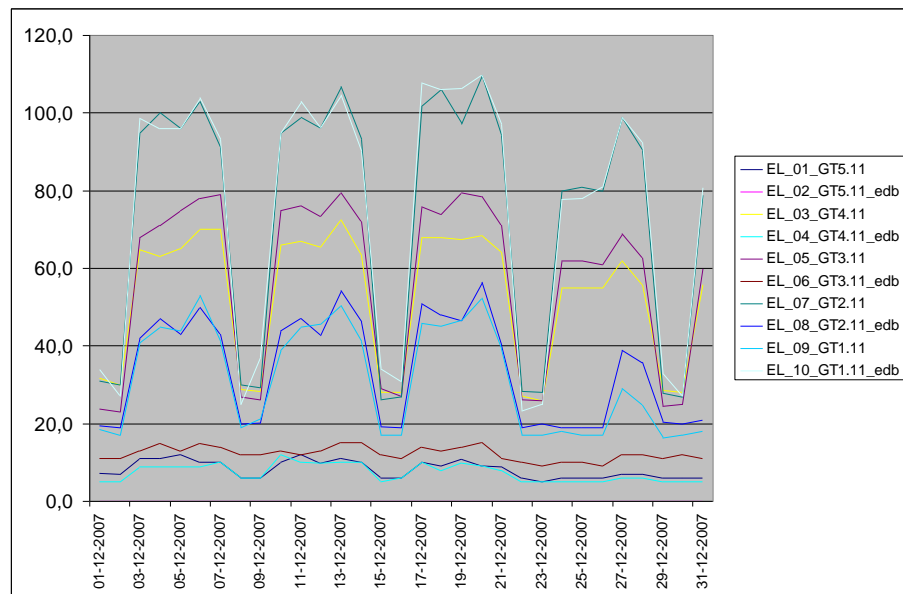
Denne adresse er sammensat af:

- **EI** (elmåler) – der kan også være tale om **Varme og Vand**
- **33** (løbnummer)
- **GT**(gruppetavle – dvs. decentral)
- (etage)
- **10** (ben) - der er 4 ben ("søjler" i huset) hvor hjørnerne peger mod de 4 verdenshjørner:
  - 10 (V), 11 (N), 12 (S), 13 (Ø)
- **Alm.** (lys, div.) – der kan også være tale om **edb** (edb stik i kontorområder).

#### Analyse af elforbrug i december 2007

Det er valgt at se nærmere på elforbruget i december 2007. Måneden indeholder i den første halvdel en meget arbejdsintensiv periode (normalt afholder meget få ferie i denne periode). Kurverne viser at den arbejdsintensive periode faktisk går helt frem til fredag den 21, hvor juleferien startede for de fleste.

#### Kontorområder GT 1.11 – 5.11



December 2007, elforbrug i en del af kontorområderne – der ses samme mønster i de andre kontorområder.

#### Variable forbrug:

- Målerne 7 og 10 (EDB) har en relativt stor variation fra ca. 30 kWh/døgn (weekend) til ca. 100 kWh/døgn (hverdage).
- Måler 3 og 5 har en mindre variation fra ca. 30 kWh/døgn (weekend) til 65-80 kWh/døgn (hverdage).
- Måler 8 og 9 har en mindre variation fra ca. 20 kWh/døgn (weekend) til 45-55 kWh/døgn på hverdage.

#### Konstante forbrug:

- For måler 1, 4 og 6 kan det ret konstante forbrug på 5-15 kWh/døgn skyldes, at der er overvejende er tilsluttet installationer, f.eks. printere, kaffemaskiner m.m. med høje tomgangsforbrug. Det er for 4 og 6 såkaldte edb-stik.

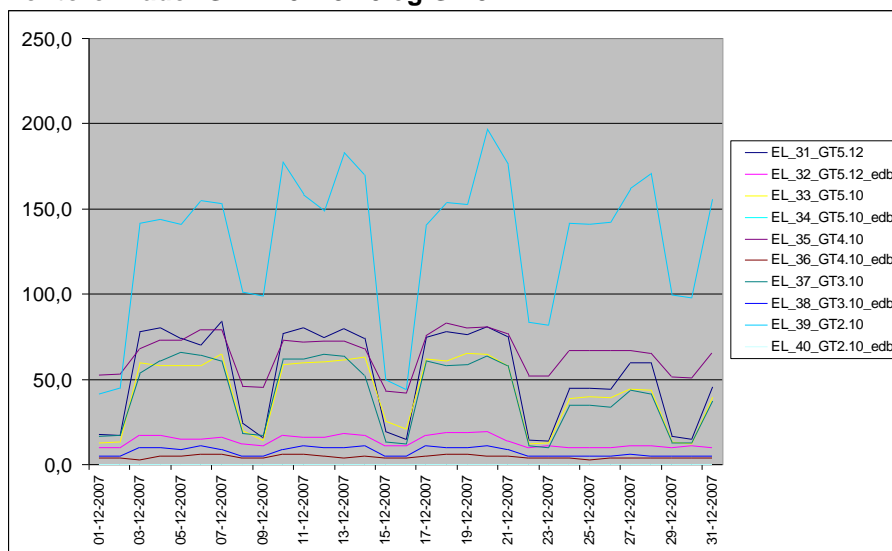


Næsten uændrede forbrug i juleferien

- Det ses, at forbrugene – bortset fra måler 1, 4 og 6 – varierer med hverdage hhv. weekend hele måneden. Der er kun en lille reduktion den 24.-26. december (mandag-onsdag), som man ellers må forvente er de dage på året, hvor de færreste er på arbejde.

En del af (de fleste?) disse afvigelser fra hvad man måtte forvente, kan bl.a. ligge i tidsindstillingerne af CTS anlægget.

#### Kontorområder GT 2.10 – 5.10 og GT 5.12



December 2007, elforbrug i en del af kontorområderne – der ses samme mønster i de andre kontorområder.

Variable forbrug:

- Målerne 31, 33, 37 og 41 (ikke vist) har en relativt stor variation fra 12-21 kWh/døgn (weekend) til 60-65 kWh/døgn (hverdage).
- Måler 35 har en mindre variation fra ca. 42 kWh/døgn (weekend) til 80-85 kWh/døgn (hverdage).
- Måler 39 har en relativt stor variation under 50 kWh/døgn (weekend) til 200 kWh/døgn den 20. december og omkring 150 kWh/døgn på de fleste andre hverdage.

Konstante forbrug

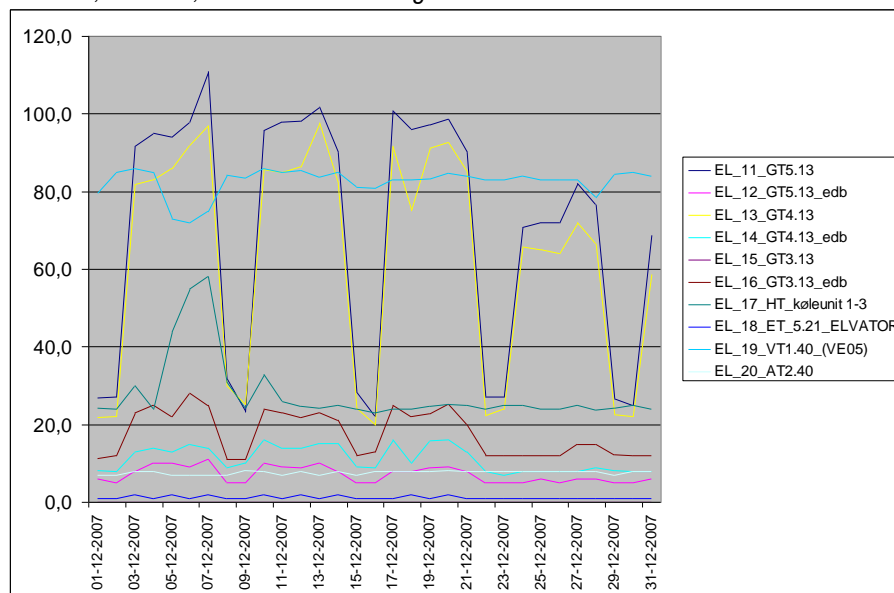
- For måler 32, 36, 38 og 42 (ikke vist) kan det ret konstante forbrug på 5-15 kWh/døgn skyldes, at der er overvejende er tilsluttet installationer, f.eks. printere med høje tomgangsforbrug. Det er i alle tilfælde såkaldte EDB-stikkontakter.

Næsten uændrede forbrug i juleferien

- Det ses, at forbrugene – bortset fra måler 32, 36 og 38 – varierer med hverdage hhv. weekend hele måneden. Der er kun en lille reduktion den 24.-26. december (mandag-onsdag), som man ellers må forvente er de dage på året, hvor de færreste er på arbejde.

En del af (de fleste?) disse afvigelser fra hvad man måtte forvente, ligger sandsynligvis i indstillingerne af CTS anlægget.

### Køleunit, elevator, køkkenventilation og kontorområder



December 2007, elforbrug i kontorområder (måler 11-16) og div. teknik.

#### Køleunit – måler 17

Køleuniten betjener de centrale IT installationer (servere, UPS m.m.). Der er frikøling og derfor kan det større forbrug ca. 4-8. december undre.

#### Elevator – måler 18

Forbruget ligger ret konstant – ca. 2 kWh/døgn på hverdage og 1 kWh/døgn i weekends. Forbruget synes umiddelbart lavt.

#### Ventilation i køkken VE 05 – måler 19

Forbruget ligger ret konstant omkring 80 kWh/d (72-86 kWh) alle dage.

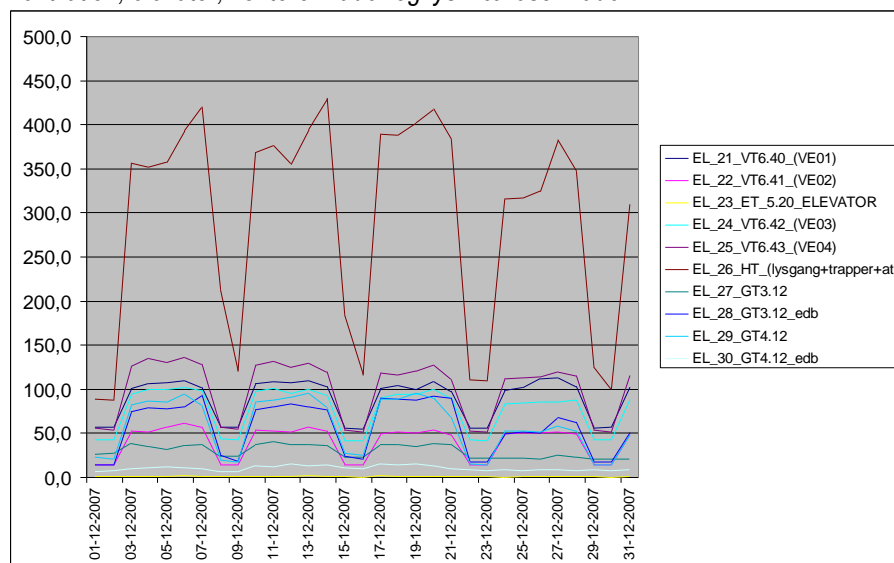
#### AT2, CTS og div. automatik – måler 20

Konstant forbrug på ca. 8 kWh/døgn.

#### Kontorområder – måler 11-16

Konklusioner vedr. kontorområderne vist på ovenstående diagram svarer til konklusionerne nævnt tidligere for kontorområder.

### Ventilation, elevator, kontorområder og lys i fællesområder



December 2007, elforbrug i kontorområder (måler 27-30) og div. teknik.

## Ventilation i kontorområder m.m.

Bortset fra køkken og kantine dækkes resten af huset af 4 ventilationsanlæg (VE01-04), der hver tager "et hjørne" af bygningen - gående fra taget, hvor anlæggene er placeret til den nederste etage i bygningen: Den nederste etage er i niveau 3 for de rum, der vender ud mod Skanderborgvej (hovedindgangsside) eller niveau 1 for de rum, der vender ud mod de grønne områder (travbanen).

VE01, syd (måler 21)

ca. 110 kWh/døgn og ca. 55 kWh/døgn i weekends

VE02, vest (måler 22)

ca. 57 kWh/døgn og ca. 23 kWh/døgn i weekends

VE03, nord (måler 24)

ca. 100 kWh/døgn og ca. 43 kWh/døgn i weekends

VE04, øst (måler 25)

ca. 135 kWh/døgn og ca. 55 kWh/døgn i weekends

## Belysning i gangarealer, trapper og atrium – måler 26

Elforbruget stiger fra først på ugen mand-onsdag 350-370 kWh/d, op til 430 kWh/d om torsdagen og ned til 110-120 kWh/d i weekends.

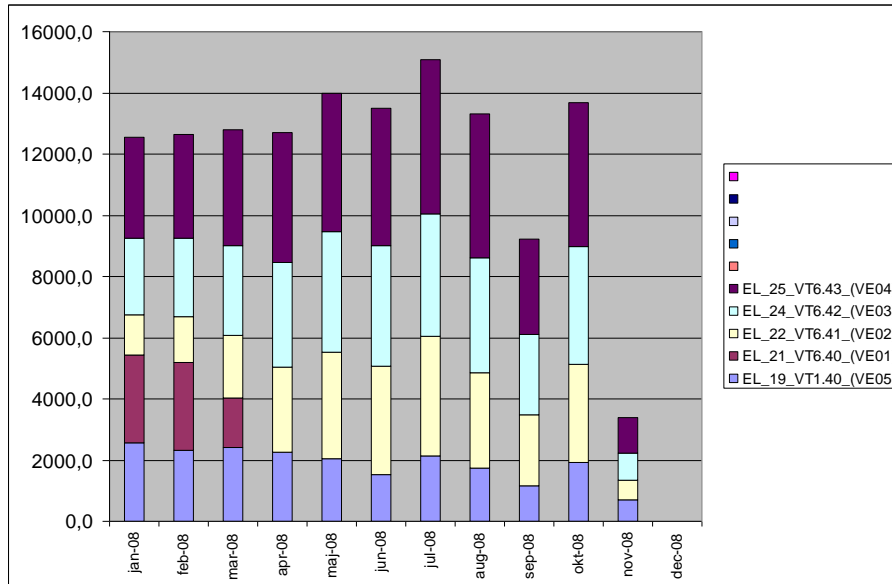
## Elevator – måler 18

Forbruget ligger meget konstant – ca. 1 kWh/d på alle dage. Forbruget synes umiddelbart meget lavt og (for) konstant.

## Kontorområder – måler 27-30

Konklusioner vedr. kontorområderne vist på ovenstående diagram svarer til konklusionerne nævnt tidligere for kontorområder.

## Ventilation, elforbrug over et år

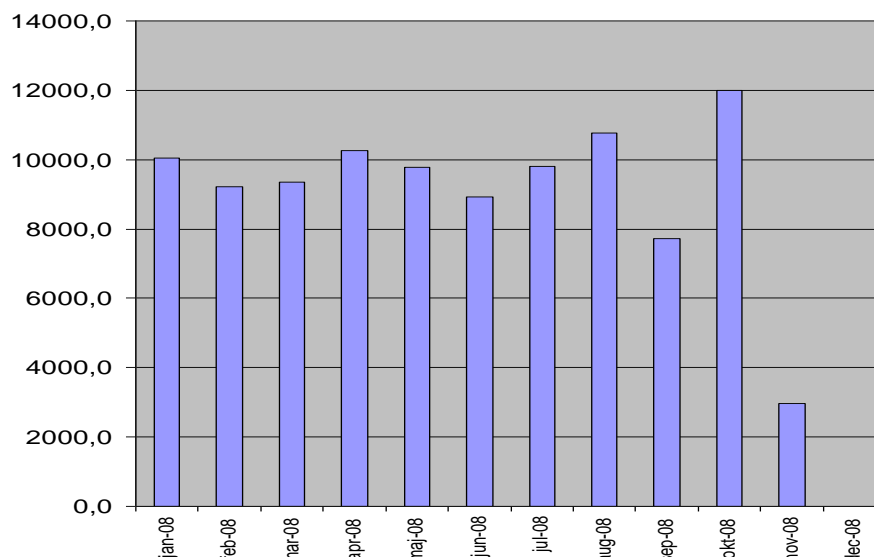


Fordeling af elforbrug til ventilation 2008.

Elforbruget til ventilation øges fra ca. 12.500 kWh/måned i januar til ca. 15.000 kWh/måned i juli. Dette skyldes sandsynligvis, at der er tale om VAV anlæg uden mekanisk køling. På den baggrund forekommer forøgelsen at være ret beskeden.

Der er umiddelbart ingen forklaring på, at elforbrug til anlæg 1 (måler 21) reduceres til 0 i april. Nogenlunde samtidig øges forbruget til anlæg 2 (måler 22) for nærmest at være 3-doblete i maj. Det markante fald i september skyldes fejl i dataopsamlingen.

## Belysning, elforbrug over et år



Fordeling af elforbrug til belysning i fælles gangarealer, trapper og atrium 2008.

Elforbruget til belysning ligger ret konstant på ca. 10.000 kWh/måned. Den automatiske lysstyring har givet anledning til en del klager fra personalet og man har derfor valgt at holde lyset konstant i arbejdstiden.

Det markante fald i september skyldes fejl i dataopsamlingen.

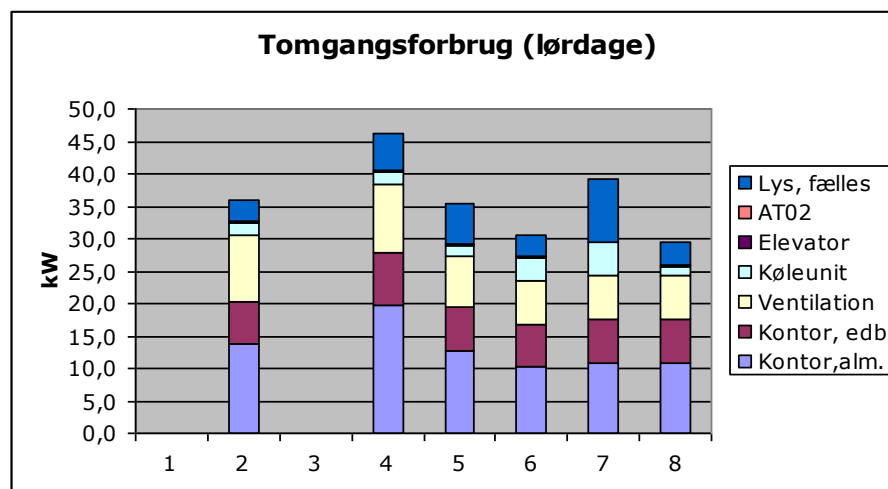
I efteråret fandt man en fejl på tidsstyringen, der medførte at der var konstant lys på i nogle af områderne.

Målingerne stoppede i starten af november.

## Tomgangsforbrug

Der er kun logget døgnværdier. Derfor er tomgangsforbrug undersøgt ved at se på forbruget i weekends. Logninger på hovedmåleren (timeværdier) viser at forbrug i weekends svarer ret eksakt til forbrug udenfor arbejdstid på hverdagene.

Det er valgt at se på følgende lørdage: 10. november 2007 (nr.2); 12. januar 08 (nr.4); 12. april (nr.5); 14. juni (nr.6); 9.august (nr.7) og 8. november 2008 (nr.8).

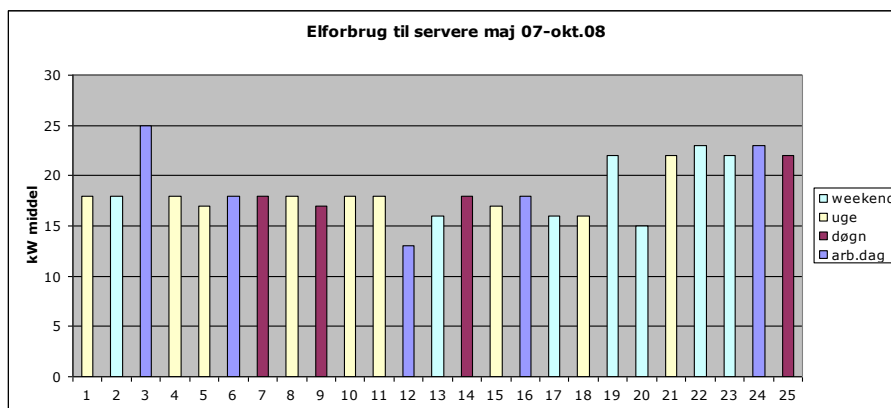


Tomgangsforbrug ekskl. servere 2007-2008.

Det ses ofte at energiforbruget har en tendens til at vokse, indtil man får øje på udviklingen. F.eks. opdagede man i efteråret 2008 at noget af belysnin-

gen kørte om natten (søjle 7), hvorefter at man fik rettet nogle indstillinger i styringen og reduceret energiforbruget (søjle 8).

## Servere



Elforbrug til servere ekskl. køl 2007-2008 udgør 16-17 % af det samlede elforbrug. Søjlerne numre svarer til den rækkefølge, målerne er aflæst i.

Der er stort set ingen forskel på elforbruget – uanset om det er en almindelig arbejdsdag, nat, weekend eller en længere periode. Det har ikke været muligt at få en forklaring på dette. it-leverandøren mener ikke, at forbruget bør ligge så jævnt. Da der sker opdateringer om natten vil der dog være et vist forbrug udover tomgangstabene.

Baseret på erfaringer fra andre projekter, hvor Rambøll har undersøgt serveres elforbrug viste det sig, at tomgangsforbruget lå på omkring 40-50 % af max. forbrug. Der kan dog være forskel på serveres opbygning. Udviklingen i branchen går mod mere effektive strømforsyninger, kølesystemer m.m.

I september til oktober 2008 (søjle 21) udvidedes kapaciteten i serverinstallationen svarende til at forbruget ændredes fra 17-18 kW til 22-23 kW.

Bygningens serverinstallation dækker det meste af forbruget i bygningen og er desuden server for eksterne brugere. Til gengæld hører nogle af funktionerne til servere udenfor bygningen. Alt i alt vurderes det at størrelsen af serverinstallationen og dermed forbrug, svarer til et typisk forbrug i en bygning af denne størrelse og anvendelse.

Forbrug til køling udgør yderligere 1,5-5,2 kW med en COP (faktor for køleydelse i divideret med elforbrug) på 3,2 til 10,8. De store variationer skyldes at anlægget er opbygget med frikøling. De dårligste værdier er målt i august 2007 og de bedste værdier i okt. 2007. Der er ikke målt elforbrug i vintermånederne, hvor det burde være muligt at opnå mindst lige så gode tal.

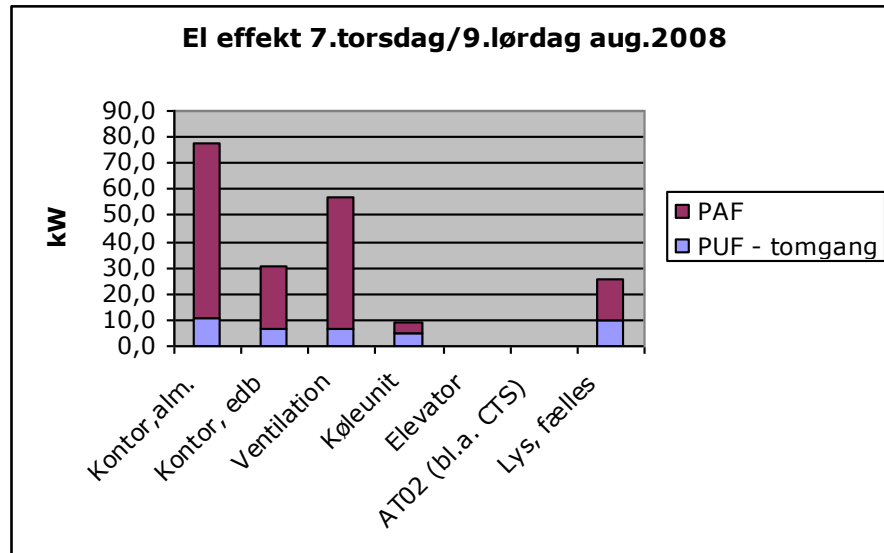
## Fordeling af elforbrug – august og november 2008

Der er set på sammensætning af elforbruget på en almindelig arbejdsdag henholdsvis en lørdag. Ud fra timelogninger på hoved elmåleren er forbruget udenfor arbejdstiden svarende til forbruget i weekends. Derfor er disse forbrug i denne undersøgelse defineret som tomgangstab.

Forbruget er opdelt på:

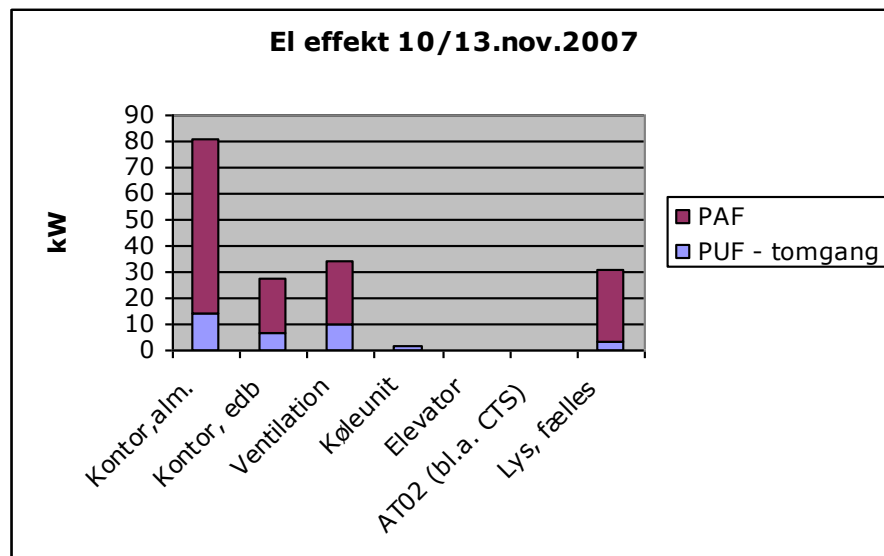
- Personuafhængigt forbrug (beregnet på basis af døgnforbruget lørdag)
- Personafhængigt forbrug (samlet forbrug ekskl. produktionsuafhængigt) fordelt over 10 timer

Det samlede forbrug - kW i alt – er således summen af det personuafhængige og det personafhængige forbrug.



Forbrugskategorier august 2008 - baseret på forbrug torsdag d.7. og lørdag d.9.

VAV-styringen øger luftudskiftningen torsdag den 7.august, hvor temperaturen nåede op på 23 °C og 8 solskinstimer. Øgningen af elforbruget fra ca. 33 til ca. 57 kW svarer dog kun til en forøgelse af luftmængden med ca. 20 %. På grund af de høje udendørstemperaturer er der et forbrug på ca. 10 kW til køling af servere.



Forbrugskategorier november 2008 - baseret på forbrug lørdag d.10. og tirsdag d.10.

Der ses en tydelig reduktion i det variable elforbrug til ventilation i november. Forbruget til serverkøling er kun 1-2 kW, da der er frikøling på anlægget.

Belysningens samlede el-effekt er øget 10-15 %, men PUF er dog samtidig reduceret med ca. 50 %.

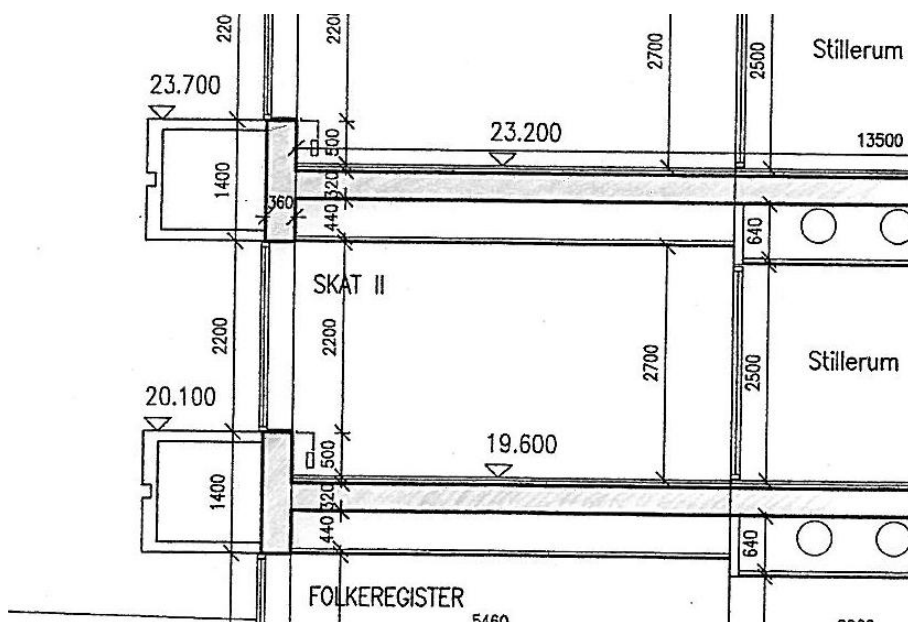
## Bilag 8 Måling af temperaturer

Der er af hensyn til målingerne i projektet indbygget følere i nogle af betondækkene samt i hulrummet over et nedhængt loft, for at kunne følge temperaturvariationerne i konstruktionerne. Placeringen er i modul AB13 dvs. ca. 2,6 m fra SØ-facaden (mod Skanderborgvej) og ca. 25 m fra SV-gavl (mod Grøndalsvej).

Følerne er placeret i følgende punkter over og under plan 4 (næst øverste etage):

- 1 30 mm oppe i huldæk over plan 4 - målt fra dækunderside (føler nr. 1)
- 2 i det nedhængte loft over plan 4 - mellem huldæk og nedhængt loft (føler nr. 2)
- 3 mellem gulvbrædder og afretning under plan 4 (føler nr. 3)
- 4 mellem afretning og huldæk under plan 4 (føler nr. 4)

Lufttemperaturen i rummet (plan 4) samt under (plan 3) og over (plan 5) kan aflæses på de almindelige CTS-følere.



Tværsnit i bygning i plan 4 ved facade mod Skanderborgvej. Varmekapaciteten i et etagedæk er ca. 150 Wh/m<sup>2</sup>/K.

I nærværende bilag gennemgås målinger foretaget efter indflytningen ult. 2005. Som baggrund for at forstå variationer i tallene er det nødvendigt at være bekendt med den omlægning af diverse funktioner, der skete efter ibrugtagningen. Der er derfor i starten af hver måleperiode anført antal medarbejdere.

### Kold periode

I perioden 28. november (tirsdag) til 5. december (tirsdag) 2006 arbejdede der 510 personer – tæt på det maksimale - i bygningen.

I perioden har døgnets minimumtemperatur ligget mellem 6 og 8 °C og maksimumtemperaturer mellem 6 og 12 °C. Den 28. til 30. nov. er der 0 mm nedbør og 4 timer sol pr døgn. Den 29. nov. til 5.dec. er der 3-10 mm nedbør og 0-1 timer sol pr døgn. Vindhastigheden i perioden var 3-6 m/s.

## Rumtemperatur

Fra 22,5 °C kl. 16 mandag falder rumtemperaturen til 21,4 °C kl. 02. Frem til kl. 08 falder temperaturen kun meget lidt. Mellem kl. 08 og 12 tirsdag øges temperaturen til 22,8 °C og ligger herefter nogenlunde konstant til kl. 16.

## Konstruktioner

### Dæmpning af varierende rumtemperaturer på hverdage

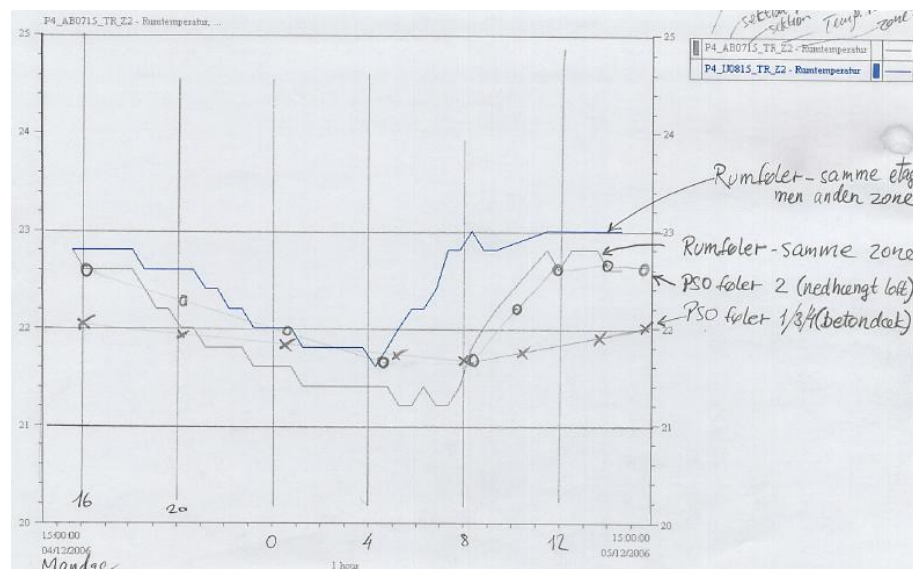
Tirsdag til fredag er temperaturen i dækkene 22,7-23,5 °C. Variationen over et døgn er ca. 0,5 °C, svarende til en ændring i dækkenes varmeindhold på 50-100 Wh/m<sup>2</sup>. Dette kan tages som et udtryk for dækkenes evne til at dæmpe variationer i rumtemperaturerne over et døgn

### Dækkene afgiver varme i weekenden

Fra fredag eftermiddag til mandag morgen falder temperaturen i dækkene jævnt fra 22,5-23 °C til 21,5-21,8 °C. Der sker altså en reduktion i dækkenes varmeindhold på 100-150 Wh/m<sup>2</sup> over weekenden.

### Dækkene opsamler varme i løbet af arbejdsugen

Fra mandag morgen til tirsdag morgen stiger temperaturen i etagedækket ca. 0,3 °C. Dette dækker over at temperaturen stiger 0,6 °C i løbet af mandag kl. 8-16 og efterfølgende falder jævnt fra ca. 22 °C til ca. 21,7 °C kl. 08 tirsdag. Der sker altså en akkumulering af varme i dækkene over et hverdagsdøgn – i dette tilfælde 30-60 Wh/m<sup>2</sup>.



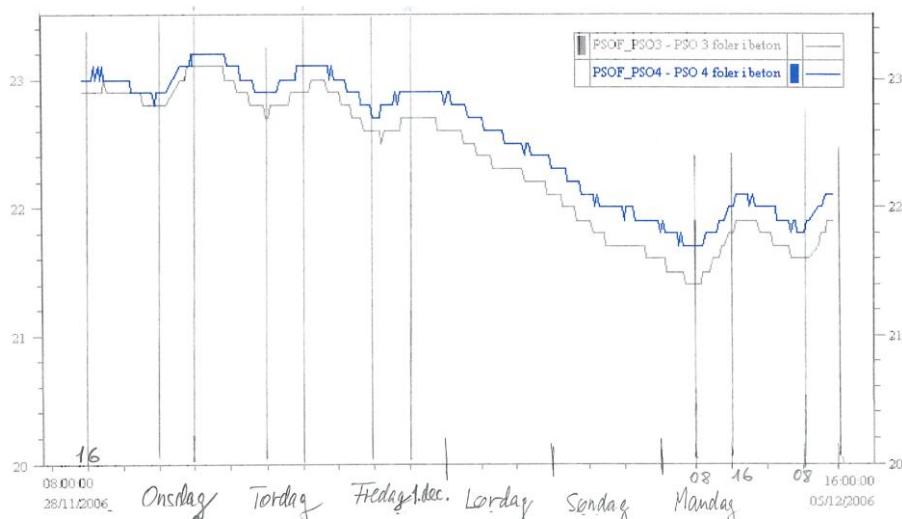
Temperaturer på/over plan 4 mandag den 4. kl 16 til tirsdag den 5. dec. kl 16. De 3 følere i dækkene er vist som en linje, da de ligger indenfor få tiendedele °C.

## Diskussion

De første dage af perioden 28. november til 4. december kommer rumtemperaturerne op mod 24 °C, hvor dækte temperaturerne kun kommer op omkring 23 °C. Den sidste del af perioden er der ca. 23,5 °C som maksimal rumtemperatur, hvor dækte temperaturerne kun er omkring 22 °C. I løbet af weekenden falder dækte temperaturerne fra ca. 23 til 21,5 °C. Som forventet svinger rumtemperaturen omkring dækte temperaturen.

I perioden 4. til 5. december stiger rummets temperatur til den er ca. 1 °C over dækkets temperatur. I arbejdstiden følger temperaturen rumtemperaturen – belysningen bidrager i et vist omfang til temperaturstigningen i det nedhængte loft, dog ikke mere end at rumtemperaturen ikke overskrides. Uden for arbejdstiden påvirkes temperaturen mere af konstruktionens temperatur.





Temperaturer i dæk/gulv under plan 4. Øverste kurve er føler placeret nederst (betondæk-afretning) og nederste kurve viser øverste føler (afretning-gulv). Det meste af tiden går varmen op gennem dækket.

Natsænkningen af rumtemperaturen bremses, når den opnår en temperatur der er ca. 0,3-0,4 °C under dækteperaturen (ved den aktuelle udetemperatur omkring 6-8 °C) selvom styringen sigter efter et større temperaturfald. I løbet af ca. 10 timer (ca. kl. 16-02) falder rumtemperaturerne ca. 1 °C. Genopvarmningen tager ca. 4 timer.

I det samme tidsrum (kl. 16-02) falder temperaturen i dækelementerne med 0,2-0,3 °C og i det nedhængte loft med ca. 0,6 °C.

## Konklusioner

### *Natsænkning, besparelse*

Ved udetemperaturer omkring 10 °C (døgnmiddel) sker der altså en sænkning af rumtemperaturen over 16 timer på i gennemsnit ca. 0,8 °C (temperaturen falder fra ca. 22,8 °C til 21,2 °C) – svarende til en reduktion i varmebrug på ca. 5 % over et døgn. Temperatursænkningen vil ske hurtigere ved lavere udetemperaturer og nærme sig nul ved en udetemperatur på 20 °C.

### *Nedhængt lofts betydning for varmeakkumuleringen*

Når rumtemperaturen overstiger konstruktionernes temperatur følger det nedhængte loft tæt rumtemperaturen – dvs. der overføres varme til dækkonstruktionen når rumtemperaturen stiger.

### *Konstruktionernes indflydelse på rumtemperaturen*

Det ser ud til at rumtemperaturen kan holdes inden for 1 °C interval ved de aktuelle udetemperaturer (8-9 °C middeltemperatur) og begrænsede solbelastning. Dette er en kombination af ventilationsanlæggets indflydelse og at konstruktionerne kan nå at afgive den oplagrede varme i løbet af natten.

## Varm periode

I denne periode arbejdede der omkring 300 personer (skønnet på baggrund af tallet for måneden) – lidt over halvdelen af det maksimale - i bygningen.

Udeklimaet kan summeres som i nedenstående tabel.

| Dag     | Udetemp.<br>°C | Regn<br>mm/d | Sol<br>Timer/d | Vind<br>m/s | Rum<br>°C | Dæk<br>°C |
|---------|----------------|--------------|----------------|-------------|-----------|-----------|
| Mandag  | 14-28          |              | 13             | 2-3         | 26        | 25        |
| Tirsdag | 13-27          |              | 11             | 2-3         | 26,5      | 25,4      |
| Onsdag  | 13-27          | 0,5          | 8              | 2-3         | 27        | 25,8      |
| Torsdag | 14-26          | 0,5          | 9              | 2-3         | 27,5      | 26,2      |
| Fredag  | 14-26          | 3            | 4              | 2-3         | 27,5      | 26,5      |
| Lørdag  | 15-23          | 0,5          | 1              | 2-3         | 27        | 26,3      |
| Søndag  | 10-23          |              | 7              | 2-3         | 27,5      | 26,1      |
| Mandag  | 9-23           | 1            | 7              | 2-3         |           | 26        |

### Rumtemperaturer

Temperaturerne stiger til ca. 26-26,5 °C (mandag-tirsdag) hhv. 27-27,5 °C (onsdag til fredag). Om natten falder temperaturen 1-3 °C.

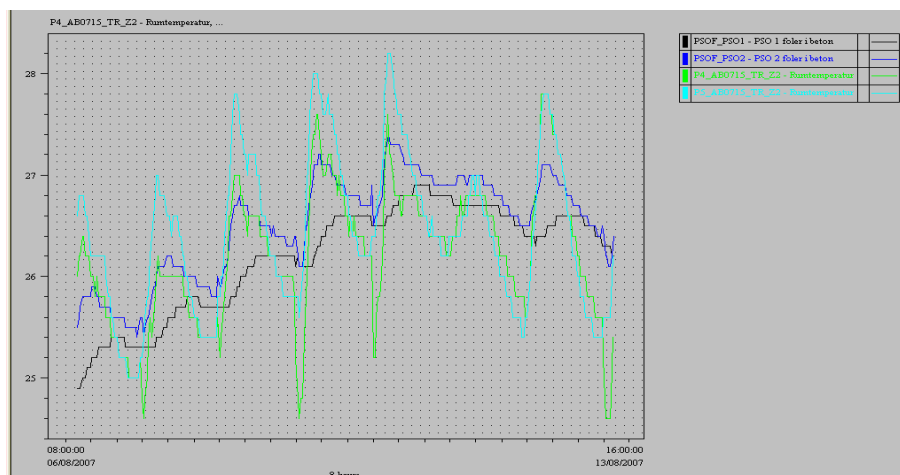
Det er sandsynligvis høje udetemperaturer og sol, der alene får temperaturerne om søndagen til igen at stige til næsten 28 °C på nedenstående udskrift. På 5. etage (blå linje) overstiger temperaturen 28 °C. Det ser ud som om at natsænkningen ikke virker i samme omfang som på 4. etage.

### Konstruktioner

Varmebelastningen på hverdagene får dækttemperaturen til at stige fra ca. 25 °C (mandag morgen) til ca. 26,6 °C (lørdag morgen). I løbet af weekenden falder temperaturen til ca. 26 °C. Stigningen over en arbejdsdag er ca. 0,5 °C og faldet i løbet af natten er ca. 0,2 °C. Nettostigning i varmeindhold er ca. 50 Wh/m<sup>2</sup>/d. Virkningen af natkøling er ikke markant.

### Nedhængt loft

Temperaturerne når højst op på 0,3-0,6 °C under rummets temperatur. Om natten er faldet kun omkring 25-35 % af faldet i rumtemperaturen.



Rumtemperaturer på plan 4 (grøn), nedhængt loft (mørk blå) og dæk over rummet (sort).

### Diskussion

De høje udetemperaturer og de mange solskinstimer er med til at presse temperaturerne i bygningen op i løbet af ugen, frem til fredag.

Natsænkningen af rumtemperaturen bremses, når den er ca. 1,5-2 °C under dækttemperaturen. Rumtemperaturen er langt fra at nå ned i nærheden af udetemperaturen (13-15 °C) om natten, selvom der skulle være natkøling via ventilationsanlægget.

Rumtemperaturerne ligger 1-2 °C over dækttemperaturen (ved den aktuelle udetemperatur op til 25-28 °C og sol). Den temperaturstigning, der sker i

dækkene svarer omtrent til stigningen i rumtemperatur i løbet af ugen. Temperaturen i dækkene over/under plan 4 ligger er ens indenfor 0,5 °C.

Den isolerende virkning af det nedhængte loft ses tydeligt om natten. Det fald, der sker i rumtemperaturen slår kun i begrænset omfang igennem i det nedhængte loft.

I dagtimerne bidrager belysningen til temperaturstigningen i det nedhængte loft i et vist omfang. Dog ikke mere end at rumtemperaturen stiger væsentligt mere.

## Konklusion

Det fremgår af logningerne at bygningen langsomt varmes op i løbet af ugen for at toppe fredag, hvor vejret skifter.

Den lagrede energi i bygningen ses også om natten, hvor den kun langsomt forlader konstruktionerne. Det er et spørgsmål om natkølingen med ventilationsanlægget fungerer fuldt ud – et temperaturfald i betondækkene på 0,1-0,2 °C (over nedhængt loft) hhv. 0,2-0,4 °C (gulv) i løbet af natten er ikke nok til at bygningen kan imødegå en generel stigning i rumtemperaturen i løbet af den kommende dag.

Ved stor varmebelastning udefra kan rumtemperaturene overstige dæktemperaturen med 1-2 °C.

I den meget varme periode kommer temperaturen i det nedhængte loft ikke under dæktemperaturen og der sker således ikke nogen fjernelse af varme fra konstruktionen denne vej.

## Overgangsperiode

Denne periode minder om den først beskrevne måleperiode omkring 1. december og er derfor kun beskrevet i nærværende bilag.

I denne periode arbejdede der 560 personer – svarende til det maksimale - i bygningen.

Udeklimaet og indetemperaturen i perioden kan summeres som i nedenstående tabel.

Udendørsklima og indendørstemperaturer 28.sep.- 5.okt. 2007

| Dag       | Udetemp.<br>°C | Regn<br>mm/d | Sol<br>Timer/d | Vind<br>m/s | Rum<br>°C | Dæk<br>°C |
|-----------|----------------|--------------|----------------|-------------|-----------|-----------|
| Fredag 28 | 4-14           | 14           |                | 5-10        | 24        | 23,7      |
| Lørdag    | 9-15           | 12           | 1              | 3-8         | 23        | 23,4      |
| Søndag 30 | 10-16          | 2            | 2              | 2-4         | 22,8      | 23,2      |
| Mandag 1  | 9-14           |              | 2              | 2-6         | 23,5      | 23        |
| Tirsdag   | 4-16           |              | 6              | 1-2         | 23,5      | 2         |
| Onsdag 3  | 2-15           | 0,5          | 5              | 0-2         | 23,5      | 23        |
| Torsdag   | 2-14           | 16           | 1              | 2-5         | 23,5      | 23        |
| Fredag 5  | 8-16           | 0,5          | 7              | 2-6         | 23,5      | 23        |

Rumtemperaturen steg jævnt fra 22 °C om morgenen til 23,5 °C sidst på eftermiddagen i perioden 1.-4. oktober (mandag til torsdag). Der var en forskel på godt 0,5 °C mellem de forskellige etager.



Temperaturer 28. september - 5. oktober 2007 i dæk over og under plan 4.

### Diskussion

På diagrammet ses i starten et tydeligt fald i temperaturerne fra fredag eftermiddag til mandag morgen.

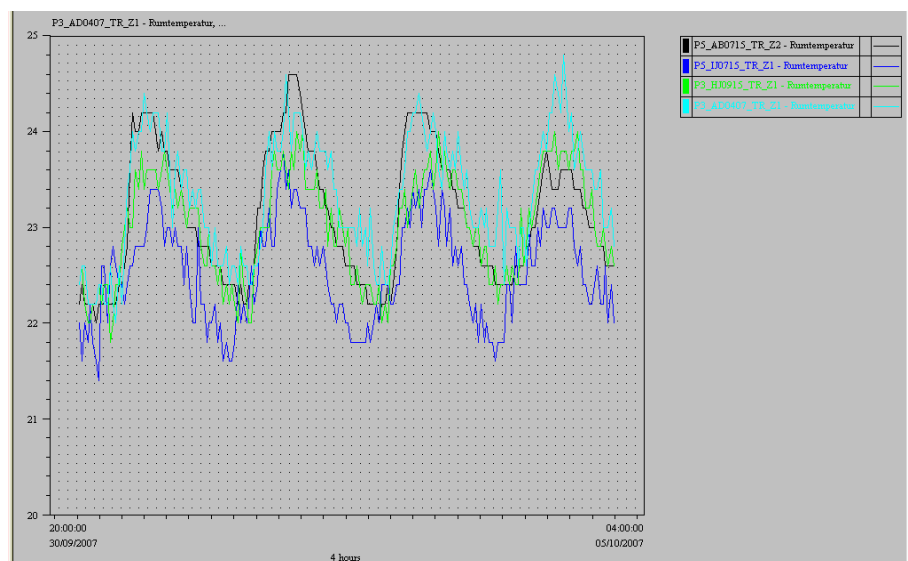
I løbet af weekenden falder temperaturen i konstruktioner med 1-1,5 °C. På hverdagene balancerer dagens opvarmning med afkølingen om natten.

Rumtemperaturerne svinger op til 1 °C over/under dækkenes temperaturer på hverdagene.

På hverdagene er der et tydeligt mønster, hvor temperaturerne i det nedhængte loft følger (dæmpet) variationerne i rumtemperaturen (ikke vist). Om dagen overstiger rumtemperaturerne hulrummets temperaturer over det nedhængte loft – om natten ligger de under.

### Konklusion

Det fremgår at opvarmning og afkøling af bygningen fungerer godt ved de aktuelle udetemperaturer (døgnmiddel 10-11 °C) og solbelastning (gennemsnit 2-4 timer/dag). Rumtemperaturerne varierer ca. 2 °C over døgnet og man udnytter derved konstruktionernes dæmpende virkning på temperaturudsvingene. Der sker en varmetransport op gennem dækkonstruktionen fra hulrummet over det nedhængte loft i hele perioden med undtagelse af nogle få timer sidst på natten.



Rumtemperaturer 30.sep. – 5.okt. 2007 på plan 3 og 5, målt 2 forskellige steder på hver etage.



I denne rapport gennemgås forskellige muligheder for at energioptimere kontorbyggeri med særlig fokus på muligheden for at minimere behovet for mekanisk køling.

Arbejdet tager udgangspunkt i et konkret kontorbyggeri i Århus, der er brugt som case til analyserne af energieffektivt kontorbyggeri. Resultaterne er generaliseret ved simulering af energi og indeklimaforholdene i to typer kontorbyggeri, en stangformet og en punktformet bygning.

Arbejdet med projektet er støttet af ELFORSK.

1. udgave, 2011

ISBN 978-87-563-1523-4