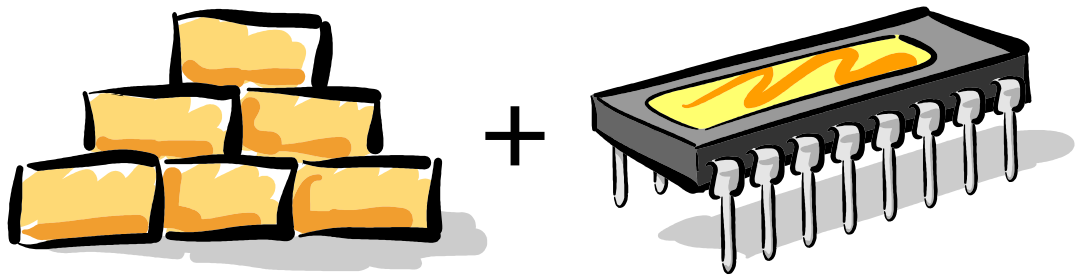


Intelligent byggeri

Med og uden teknologi



Jacob Nielsen
s971193

Eksamensprojekt - 2005
BYG•DTU

Danmarks Tekniske Universitet

1 - Forord

Dette projekt er udarbejdet i efteråret 2004 / vinteren 2005 ved BYG•DTU på Danmarks Tekniske Universitet

Der medfølger til rapporten en CD-ROM med simuleringmodeller samt rapporten i PDF-format.

Rapporten i PDF-format samt simuleringmodeller, vil ligeledes være at finde på:

www.projekt.intelligent-byggeri.dk

Siden vil eksistere til mindst august 2005.

Jeg vil gerne takke Villy Falk (Cowi) og Ejvind Løgberg (Birch & Krogboe), for en konstruktiv diskussion over emnet "intelligent byggeri".

Derudover vil jeg gerne takke Jesper Thiesen (Vejr2 A/S) for oplysninger omkring nøjagtigheden af vejrudsigtsoplysninger.

Vejledere:

Carsten Rode, BYG•DTU
car@byg.dtu.dk

&

Toke Rammer Nielsen, BYG•DTU
trn@byg.dtu.dk

Denne rapport er udarbejdet af:

Jacob Nielsen - S971193

BYG•DTU - Danmarks Tekniske Universitet
Brovej, bygning 118
2800 Kgs. Lyngby

Indholdsfortegnelse

1 - Forord.....	1
2 - Resumé	4
2.1 - Resumé (dansk).....	4
2.2 - Summary (English).....	5
3 - Indledning.....	6
3.1 - Krav til moderne byggeri.....	6
3.2 - Hvornår er en genstand intelligent ?.....	8
3.3 - Hvornår er en bygning intelligent ?.....	9
3.3.1 - Intelligente bygninger uden teknologi.....	9
3.3.2 - Intelligente bygninger med teknologi.....	10
3.4 - Beskrivelse af intelligente løsninger undersøgt i dette projekt.....	11
3.4.1 - Variabel U-værdi.....	11
3.4.2 - Styling efter vejrudsigten for det kommende døgn.....	12
3.5 - Hypotese.....	13
3.6 - Problemformulering.....	13
4 - Simuleringsprogrammer og referencemodel.....	14
4.1 - Beskrivelse af anvendt simuleringsprogram.....	14
4.1.1 - BSim2002.....	14
4.1.2 - BuildingCalc.....	17
4.2 - Beskrivelse af referencemodel.....	20
4.2.1 - Bygningens udformning.....	20
4.2.2 - Konstruktioner.....	22
4.2.3 - Bygningens brug og HVAC-systemer.....	23
5 - Intelligente klimaskærme.....	26
5.1 - Variabel U-værdi.....	27
5.2 - Simulering i BSim2002.....	28
5.2.1 - Opvarmning.....	30
5.2.2 - Køling.....	31
5.2.3 - Vurdering af resultater.....	32
5.3 - Simulering af variabel U-værdi i BuildingCalc.....	32
5.4 - Beregninger og resultater.....	35
5.4.1 - Med aktiv køling.....	35
5.4.2 - Uden aktiv køling.....	41
5.4.3 - Med solafskærmning og aktiv køling.....	43
6 - Intelligent styring af opvarmning og køling.....	50

Intelligent byggeri – med og uden teknologi
Eksamensprojekt ved BYG•DTU - 2005

6.1 - Styling efter det kommende døgns vejr	50
6.1.1 - Solindfald.....	51
6.2 - Vejrudsigststyret natkøling ved naturlig ventilation.....	53
6.3 - Vejrudsigststyret natsænkning.....	55
6.4 - Vurdering af resultater.....	57
7 - Diskussion.....	58
7.1 - Uden teknologi – variabel U-værdi.....	58
7.2 - Med Teknologi - Vejrudsigtsstyring.....	59
7.3 - Fremtidige projekter om "intelligent byggeri"	60
8 - Konklusion.....	62
9 - Litteraturliste.....	63
10 - Sekundær litteratur.....	65
11 - Bilag.....	66
11.1 - Bilag 1 – Medfølgende CD-ROM:.....	66
11.2 - Bilag 2 – Ligningssystem for BSim2002.....	67
11.3 - Bilag 3 – Ligningssystem for BuildingCalc.....	68
11.4 - Bilag 4 – Resultater for simulering i BuildingCalc med brug af solafskærmning..	69
11.4.1 - Resultater for det nordvendte lokale:.....	69
11.4.2 - Resultater for det østvendte lokale:.....	69
11.4.3 - Resultater for det sydvendte lokale:	70
11.4.4 - Resultater for det vestvendte lokale:.....	70

2 - Resumé

2.1 - Resumé (dansk)

Nærværende projekt omhandler "intelligent byggeri". Intelligent byggeri betyder i dette projekt at bygningen opføres således at energiforbruget reduceres mest muligt dog, uden at det går ud over komforten i bygningen.

Som følge af skærpede krav til energiforbrug i det kommende bygningsreglement for Danmark, bliver det fremover vigtigt at tænke bygningens energiforbrug reduceret samlet set, da øgede krav til isolering kan skabe behov for anvendelse af aktiv køling i bygninger med høj belastning fra solindfald og personer/maskiner. Dette kan allerede være et problem i nuværende kontorbyggeri.

I projektet er der udført undersøgelser af bygninger "med" og "uden teknologi", "uden teknologi" omfatter i dette projekt at der ikke anvendes aktiv styring og regulering af installationer der kræver konstant energiforbrug. Reguleringen af det termiske indeklima skal i stedet ske ved at selve bygningens konstruktioner anvendes "intelligent", det kan dog tillades at der anvendes et beskedent energiforbrug til lejlighedsvis styring og regulering til f.eks. åbning og lukning af spjæld. I dette projekt har jeg som eksempel på "intelligent byggeri" "uden teknologi" valgt at undersøge virkningen af anvendelse af en facade med "variabel U-værdi" der gør at facaden kan regulere varmetabet således at overophedning kan reduceres eller undgås ved store belastninger fra solindfald og personer/maskiner. "Med teknologi" omfatter i dette projekt at der anvendes aktiv styring og regulering af installationer med et konstant energiforbrug så som brug af aktive varme- og køleanlæg. I dette projekt har jeg som eksempel på "intelligent byggeri" "med teknologi" valgt at undersøge virkningen af en "intelligent løsning" til styring og regulering efter kendskab til det kommende døgn's vejr, så som solindfald og udetemperatur.

Simuleringerne i projektet er foretaget i BSim2002 og BuildingCalc. Den anvendte referencemodel bygger på IEA Task 27 reference kontor.

2.2 - Summary (English)

This present project is about "Intelligent Buildings". In this project "Intelligent Buildings" means that the building is constructed so that the energy consumption is reduced the most, without it interfering with the comfort in the building.

As a consequence of the tightening of the demands for energy consumption in the buildingcode to come for Denmark, it will be important to think about the buildings energy consumption reduced all together in the future, as higher demands for insulation may cause needs for the use of active cooling in buildings with a high load from the sun and persons/machines. This may already be a problem in office buildings in present day. In the project there has been carried out examinations of buildings "with" and "without technology". In this project "Without technology" means that there is not being used active control and regulation of installations that demands constant energy consumption. The regulation of the thermal indoor climate must instead happen so that the constructions of the building are used "intelligent". It can be allowed that there's being used a modest amount of energy consumption for the occasional control and regulation of fore example opening and closing of dampers. In this project I've chosen to examine the effect of the use of a façade with a "variable U-value", as an example of "intelligent buildings" "without technology", which enables the façade to regulate the heat loss so that overheating can be reduced or avoided at great loads from the sun and persons/machines. "With technology" means in this project that there is being used an active control and regulation of installations with constant energy consumption, such as the use of active heating and cooling devises. As an example of "intelligent buildings" "with technology", I've in this project chosen to examine the effect of an "intelligent solution" for control and regulation by knowledge of the weather forecast for the following day, such as sun and outdoor temperature.

The simulations in the project have been made in BSim2002 and BuildingCalc. The used reference model has been built on IEA Task 27 reference office.

3 - Indledning

I dette projekt undersøges begrebet "intelligent byggeri", og hvilken betydning dette har i forbindelse med bygningers energiforbrug og deres indklima.

Siden energikrisen i 1970'erne har der været sat fokus på energiforbrug til opvarmning af bygninger. Dette har sammen med udsigten til at de nuværende energiformer så som olie og gas ikke er udtømmelige ressourcer, gjort det nødvendigt at fortsætte udviklingen af energieffektive og forureningsfri løsninger.

Det ultimative mål i byggebranchen er, ifølge deres egne udsagn [1], at opføre energineutrale bygninger, dvs. bygninger der ikke kræver udefra kommende energi til opvarmning og køling, men udnytter f.eks. solenergi til opvarmning.

Den foreløbige målsætning er at halvere energiforbruget inden for en 20-årig periode.

Dette udspil kommer som følge af at der forventes stramninger i det kommende bygningsreglement. De nye krav vil betyde en reduktion af energiforbruget på 25-30 % i forhold til de nuværende krav. [2]

3.1 - Krav til moderne byggeri

Til moderne byggeri stilles der i dag en lang række krav, hvad enten det drejer sig om boliger eller kontorbyggeri. Kravene fra brugerne er ikke altid de samme som bygherren havde forestillet sig skulle opfyldes. Samfundsøkonomisk kan det oftest betale sig at bygge bedre bygninger, og evt. bruge lidt flere ressourcer på bygningens opførelse, da omkostningerne til driften af bygningen og personaleudgifter langt overstiger omkostningerne til opførelsen af bygningen. Ifølge "Intelligent buildings" [3] er forholdet mellem omkostningerne til opførelsen af bygningen, driften og udgiften til de ansatte: 1:5:200 set over bygningens levetid (levetiden er sat til 25 år).

De specifikke krav til en bygning afhænger af hvilke ønsker bygherren har til det færdige byggeri.

Kravene kan bl.a. være:

- Økonomi: Ofte det krav der sætter begrænsningerne.
- Komfort / indeklima: Her findes en lang række områder som luftkvalitet, temperaturforhold, lysforhold m.v.
- Lavt energiforbrug: Skal der evt. anvendes alternative energikilder som f.eks. solvarme ?
- Arkitektoniske krav: Skal bygningen skille sig ud fra mængden, eller er der tale om et typehus uden særlige krav ?
- Materialer: "Økologisk byggeri" eller andre specifikke krav til de anvendte materialer.

Udover de opstillede krav er der kravene fra myndighederne, i form af et bygningsreglement [4]. Et af de væsentligste er kravet til energiforbruget i bygningen.

Af bygningsreglementet for erhvervs- og etagebyggeri (BR-95) fremgår det at:

§8.1, Stk. 1.:

Bygninger skal varmeisoleres, så unødvendigt energiforbrug undgås samtidig med, at der opnås tilfredsstillende sundhedsmæssige forhold.

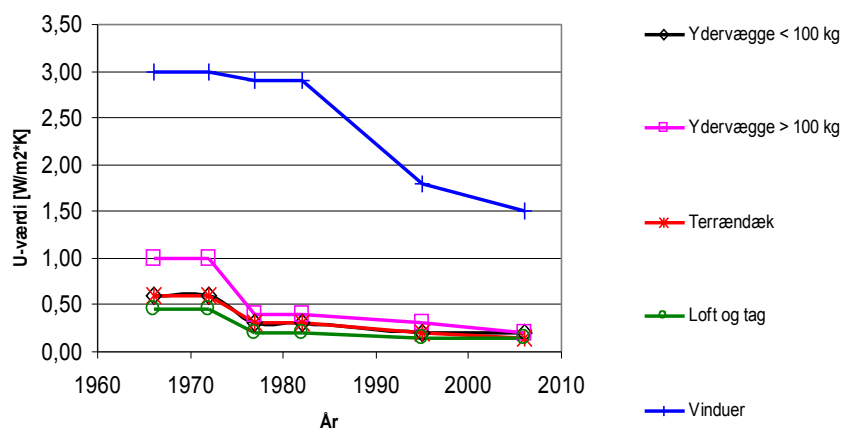
Dette ventes at blive ændret i et kommende tillæg [5] der forventes færdigbehandlet i 2005 og være gældende fra 2006.

§8.1, Stk. 1.:

Bygninger skal opføres, så unødvendigt energiforbrug til opvarmning, varmt vand, køling, ventilation og belysning undgås samtidig med, at der opnås tilfredsstillende sundhedsmæssige forhold. Tilsvarende gælder ved ombygning og andre væsentlige forandringer af bygninger.

Energiforbruget søges reduceret ved at øge kravene til isoleringen i bygningerne.

Dette krav er i bygningsreglementet givet som en U-værdi der skal overholdes. Af figur 1 fremgår det hvordan kravene er blevet strammet gennem tiden. Den største stramning blev foretaget i 1970'erne efter den første energikrise i 1973.



figur 1: U-værdier givet i bygningsreglementet siden første udgave fra 1966, til værdierne i forslag til nyt tillæg, der ventes at gælde fra 2006.

Hvis dette krav ikke kan overholdes stilles der i stedet krav til det maksimalt tilladte energiforbrug (givet som en varmetabsramme og energiramme).

Problemet er at samtidig med at bygningerne isoleres bedre, så kan det interne varmetilskud og varmetilskuddet fra solindfald medføre et behov for aktiv køling. Dette problem kan ses i kontorbyggeri hvor der findes store mængder teknisk udstyr og ofte

meget store vinduesarealer.

Ved at isolere bygningerne bedre løses et problem, men der opstår således samtidig et nyt. Myndighederne giver ikke rigtig nogen løsning på dette problem, men der gives i stedet en slags "dispensation" ved at hæve energirammen når der anvendes mekanisk ventilation.

Det ses at samfundet næsten kan gå i stå hvis der opstår en strømafbrydelse; som nu den seneste under stormen i januar 2005. Selvom strømafbrydelsen for langt de fleste var af kortere varighed, så viser den at vi som samfund er dybt afhængige af en stabil strømforsyning, da snart alting kræver strøm,

En mulig løsning på disse problemer kunne være **"Intelligent byggeri"**.

3.2 - Hvornår er en genstand intelligent ?

Hvornår er en genstand intelligent ? Det er ikke muligt at svare entydigt på dette spørgsmål, da det at være intelligent normalt forudsætter en hvis menneskelig eller menneskelignende tænke og handlemåde.

Af Gyldendals "Psykologisk pædagogisk ordbog" [6] beskrives intelligens som:

"generelle forudsætninger, begavelse, tænkning, problemløsningsfærdighed".

Disse færdigheder testes oftest ved at udføre en intelligencetest, der kan vise hvor intelligent et menneske er og på hvilke områder intelligensen udmærker sig.

I nyere tid er det en almindelig opfattelse at en genstand betegnes som intelligent hvis den har indbygget en form for computer eller "kunstig intelligens".

Dette vil jeg betegne som en snæver betragtning, da disse indbyggede computers intelligens i bedste fald er afgrænset til et begrænset område og for det meste ikke er i stand til at udføre andre opgaver end de er programmeret til.

Derfor mener jeg ordet intelligent ikke alene bør tilknyttes evnen til at behandle data, men i langt højere grad til en genstands evne til at tilpasse sig omgivelserne og levere det ønskede resultat.

Det handler med andre ord om intelligent adfærd og ikke i så høj grad om tankevirkingsomhed.

I "Psykologisk pædagogisk ordbog" [6] beskrives intelligent adfærd som:

"adfærd kendetegnet ved at alle bevægelser er hensigtsmæssige for at nå det mål, som adfærden er rettet imod, og at løsningen straks kan overføres til andre lign. problemsituationer".

Hvis denne definition benyttes så kan betegnelsen intelligent bruges meget bredt så længe den intelligente løsning indebærer et bedre produkt og ikke blot tilføjer smarte, og til tider unødvendige egenskaber.

I dette projekt vil ovenstående definition blive benyttet i forbindelse med begrebet **"intelligent byggeri"**.

En intelligent løsning skal med andre ord give brugeren en forbedret oplevelse, samtidigt med at der ikke kræves et unødvendigt energiforbrug.

Når der er tale om intelligent byggeri, betyder dette at indeklimaet er godt og at brugeren har mulighed for individuel tilpasning af indeklimaet. Dette skal gøres på en ligeså simpel og intuitiv måde som at åbne et vindue.

3.3 - Hvornår er en bygning intelligent ?

I dette projekt undersøges brugen af "intelligente løsninger" der medvirker til at regulere det termiske indeklima i bygninger.

Der ses ikke på de øvrige muligheder brugen af tekniske installationer også giver, som f.eks. adgangskontrol, kommunikation, m.v. der ikke har nogen indflydelse på det termiske indeklima i bygningen.

For at beskrive de intelligente bygninger med og uden brug af avancerede tekniske løsninger, benyttes begreberne "med teknologi" og "uden teknologi".

3.3.1 - Intelligente bygninger uden teknologi

Bygninger uden teknologi kan også betegnes passive bygninger. Herved forstås at bygningens materialer benyttes til at forbedre eller udjævne fugtindhold og temperaturændringer i indeklimaet.

Temperaturændringer kan udjævnes ved at bruge tunge bygningsdele som f.eks. beton. Fugtindholdet kan reguleres ved at anvende fugtsugende materialer som træ, porebeton m.m. Men den reelle virkning vurderes at afhænge af den valgte overfladebehandling, og virkningen kan derfor risikere at falde ved forkert brug og vedligeholdelse.

Et eksempel på et passivt byggeri hvor indeklimaet er forholdsvist stabilt, er arkivbyggeri baseret på "Zephyr"-princippet [7], hvor bygningens masse udnyttes til at sikre et stabilt indeklima uden brug af tekniske installationer.

I "Ingeniøren" d. 4 februar 2005 [8] beskrives en **"Ny intelligent vinduesbelægning"** der kort fortalt er en overfladebehandling der påføres vinduer, og som har den egenskab at når

det er varmt så holdes solens varmestraler ude og når det er koldt får varmen lov til passere ind gennem vinduet. Synligt lys kan stadig passere gennem vinduet. Ofte kan det være problematisk at konstruere fuldstændigt uden teknologi. Men for at forsøge at adskille begreberne "med" og "uden teknologi" lidt skarpt, så dækker begrebet "uden teknologi" også konstruktioner der styres og reguleres i mindre omfang, men i deres primære funktion opnås passivt, og energiforbruget er dermed nul når ændringen er foretaget.

3.3.2 - Intelligente bygninger med teknologi

Bygninger "med teknologi" kan også betegnes aktive bygninger. Disse bygninger indeholder styring og regulering i større eller mindre omfang. Til forskel fra bygninger "uden teknologi" så har de aktive bygninger et vedvarende energiforbrug til bl.a. ventilationsanlæg, køleanlæg m.v.

I moderne bygninger vil denne styring ofte være styret vha. computere. Hvor det gennem bygningens netværk er muligt at overvåge og kontrollere alle tænkelige installationer, så som ventilationsanlæg, åbning af vinduer, solafskærmning m.m. Det er i princippet muligt at styre alt hvad der kan sættes strøm til.

F.eks. kan det tænkes at være en fordel i at den intelligente styring kender bygningens fysik. Når bygningens fysik kendes kan styringen f.eks. forudsige hvordan opvarmning og køling kontrolleres bedst muligt med mindst muligt energiforbrug, f.eks. hvis der er tale om en tung¹ bygning der reagerer langsomt på opvarmningen, men omvendt kan lagre varmen i længere tid efter opvarmningen er stoppet.

En let² bygning har ikke samme mulighed for at lagre varmen og varmen vil derfor hurtigt forsvinde når opvarmningen stopper. Varmen vil primært forsvinde ved ventilation, da lette bygninger ofte er godt isoleret.

1 En tung bygning er en bygning der er opbygget af konstruktioner med stor varmelagringssevne, som f.eks. beton og mursten.

2 En let bygning er en bygning der er opbygget af konstruktioner med lille varmelagringssevne, som f.eks. træ og konstruktioner af plademateriale.

3.4 - Beskrivelse af intelligente løsninger undersøgt i dette projekt

I dette projekt undersøges to "intelligente løsninger" til at repræsentere hhv. "med" og "uden teknologi". De to løsningers effekt undersøges ved en termisksimulering i et simuleringsprogram. Effekten af de valgte løsninger og anvendt simuleringsprogram beskrives nærmere i et senere kapitel.

Til at repræsentere en løsning uden teknologi har jeg valgt at undersøge en klimaskærms konstruktion, der er opbygget med en variabel isoleringsgrad (herefter betegnet: variabel U-værdi). Tanken bag dette var at isoleringsmaterialet ændrer isoleringsevne efter omgivelserne, således at når det er koldt så isolerer materialet som almindelig isolering (f.eks. mineraluld), men når det er varmere og opvarmning ikke er nødvendig, så ændres isoleringsevnen således at varmen ledes ud gennem klimaskærmen. Dette svarer i princippet til at vi tilpasser vores påklædning til temperaturen.

Til at repræsentere et byggeri med teknologi har jeg valgt at undersøge en løsning hvor opvarmning og køling styres efter kendskab til det kommende døgns vejr. Tanken er at ved at kende vejrudsigten så kan det intelligente system forudsige hvordan bygningen bedst muligt opvarmes og afkøles, med mindst muligt energiforbrug og størst mulig komfort. Som tidligere nævnt så har jeg valgt ikke at komme nærmere ind på de øvrige muligheder "intelligent byggeri" giver, primært når det gælder løsninger med teknologi, så som øget sikkerhed, fjernaflæsning af målere, lysstyring m.v.. Mulige netværksløsninger så som BACnet³ og andre vil ikke blive beskrevet, da dette hører under bygningsautomatisering.

3.4.1 - Variabel U-værdi

Der stilles i dag store krav til bygningernes U-værdi og disse krav vil blive skærpet i fremtidige udgaver af bygningsreglementet. Højere krav til U-værdi har til formål at mindske energiforbruget forårsaget af varmetab, men ved højere isoleringsgrader kan/vil der opstå et problem når bygningens interne varmetilskud og tilskud fra solvarme bliver stort, så opstår der en situation hvor køling bliver nødvendig. Denne situation er meget almindelig med nutidens kontorbygninger.

Da kravene til U-værdier skyldes et ønske om at mindske energiforbruget ved varmetab, må løsningen være at fremstille klimaskærme med variabel U-værdi.

Dette lyder tilsyneladende simpelt, men det stiller en række krav der skal opfyldes ud over U-værdien.

³ BACnet – (Building Automation and Control Network) BACnet er den protokol der anvendes i den internationale standard EN ISO 16484-5. [9]

Kravene er bl.a. at U-værdien ikke må blive så høj at der opstår kondens på overflader. Derudover skal overfladetemperaturen være så høj at det ikke går ud over komforten.

3.4.2 - Styring efter vejrudsigten for det kommende døgn

I nyere bygninger reguleres opvarmningen og kølingen efter den aktuelle inde- og udetemperatur. Men en intelligent styring kan muligvis have fordel af at have kendskab til vejret det kommende døgn, således at der sikres et godt og stabilt indeklima ved brug af mindst mulig energi.

Ved kendskab til det kommende døgns vejr kan varmesystemet f.eks. slå fra selvom temperaturen er lidt for lav, hvis det vides at der vil komme et stort varmetilskud fra solindfald.

"Look up at a spectrum washed envelope whose surface is a map of its instantaneous performance, stealing energy from the air with an iridescent shrug, rippling its photogrids as a cloud runs across the sun, a wall which, as the night chill falls, fluffs up its feathers and turning white on its north face and blue on the south, closes its eyes but not without remembering to pump a little glow down to the night porter, clear a view patch for the lovers on the south side of level 22 and to turn 12% silver just before dawn.

M. Davies billede af morgendagens byggeri, givet ved et foredrag under "World Teleport Association Conference" i 1987 med titlen "Design for the Information Age"
Citatet er gengivet i "What do we mean by intelligent buildings?" [10]

3.5 - Hypotese

Det er muligt at opføre en "intelligent bygning" uden teknologi med konstant energiforbrug til styring og regulering af det termiske indeklima, uden det går ud over komforten !

3.6 - Problemformulering

Hvordan opnås et reduceret energiforbrug i et moderne byggeri, helt uden, eller med mindst mulig anvendelse af teknologi, samtidig med at komforten i byggeriet bevares ?

4 - Simuleringsprogrammer og referencemodel

4.1 - Beskrivelse af anvendt simuleringsprogram

For at simulere bygningens reaktion på forskellige tiltag undersøgt i dette projekt, anvendes der et termisk bygningssimuleringsprogram.

Hvilket program der vælges afhænger af hvilke studier der udføres, da de enkelte programmer har deres styrker og svagheder. Samtidig er programmerne ofte beregnet til ét primært formål f.eks. visualisering/konstruktionsopbygning, termiske forhold samt luftbevægelser. Til nøjere undersøgelser af luftbevægelser anvendes ofte et CFD⁴-program, CFD beregninger vil ofte kun finde sted i specielle tilfælde hvor en konstruktionsudformning ønskes undersøgt for om der vil opstå uheldige strømninger. CFD beregninger er desuden meget beregningstunge hvis nøjagtigheden skal være god da lokalet skal deles op i små fiktive zoner, hvor der skal udføres beregninger for hver enkelt zone.

Derudover afhænger valget af simuleringsprogram af hvor langt den enkelte byggesag er kommet i designforløbet. Normalt vil det dog være sådan at kompleksiteten i simuleringerne stiger efterhånden som designforløbet nærmer sig sin afslutning.

I dette projekt undersøges de termiske forhold for indeluften, derfor er to programmer udvalgt, de to programmer er hhv. BSim2002 og BuildingCalc. Disse to programmer er beskrevet i de følgende afsnit.

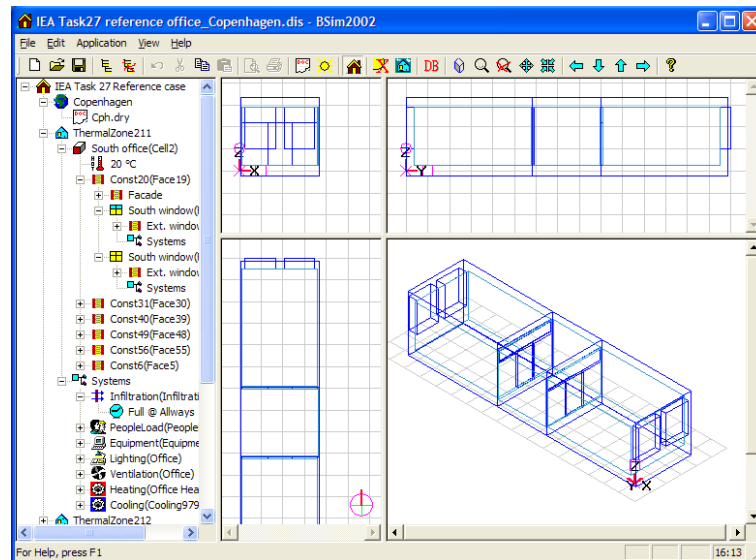
4.1.1 - BSim2002

Et simuleringsprogram der er meget benyttet i Danmark er BSim2002. Programmet er udviklet under ledelse af By & Byg (tidligere Statens Byggeforsknings Institut) og er et kommercielt program.

BSim2002 er en simuleringspakke, der udover simulering af temperaturforhold giver mulighed for at simulere fugt- og lysforhold. En anden stærk side ved programmet er at bygningsmodellen opbygges i et CAD⁵-ligende miljø, hvor bygningens konturer fremstår i 3D. Dette giver muligheden for at se hvordan solindfaldet varierer over dagen.

4 CDF (**C**omputational **F**luid **D**ynamics) beregning af strømninger i væsker og luft ved hjælp af computermodeller.

5 CAD (**C**omputer **A**ided **D**esign)er betegnelsen for design udført vha. computer visualisering og simulering.



Figur 2: Hovedskærbillede i BSim2002, den viste model er referencemodellen der beskrives senere

Modellen kan enten opbygges direkte i BSim2002 eller importeres fra et egentligt CAD-program. Ved opbygningen af modellen er det muligt at anvende en database med konstruktionsopbygninger af vægge m.v. Der er også mulighed for at opbygge egne konstruktioner.

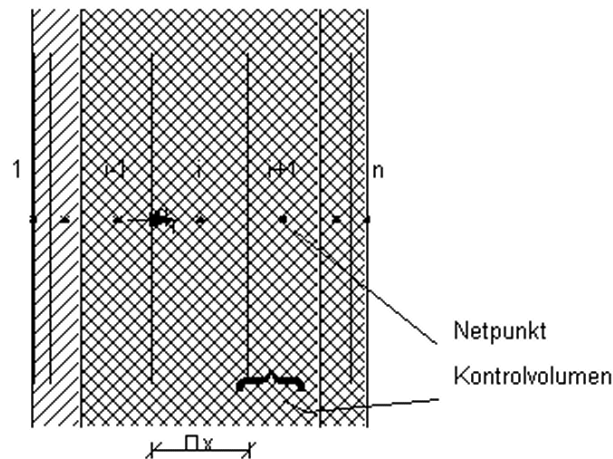
Det er i BSim2002 muligt at regne på flere zoner ad gangen, dermed kan en hel bygning simuleres på én gang. En zone er en valgt opdeling i en bygning der gør det muligt at opdele bygningen i flere enheder hvor belastninger m.v. ikke er ens, f.eks. kontorer og gangarealer eller nord- og sydvendte zoner.

Beregningsprincip

Beregningen af det termiske indeklima i BSim2002 foregår i delprogrammet Tsbi5 vha. knuder for hver af de termiske zoner samt konstruktioner. Indetemperaturen for hver termisk zone beregnes i én knude. Der regnes altså med fuld opblanding af indeluften. Dette betyder at indetemperaturen regnes at være den samme i hele zonen.

Facade- og øvrige konstruktioner er opbygget af flere knudepunkter.

Antallet af knuder afhænger af konstruktionstykkelsen samt antallet af forskellige lag i konstruktionen. Antallet af knuder er dog mindst én knude pr. 0,05 m. Denne inddeling af konstruktionerne i kontrolvolumener gør det f.eks. muligt at undersøge temperaturforholdene gennem konstruktionen. Inddelingen i kontrolvolumener kan ses på Figur 3.



Figur 3: inddeling i kontrolvolumener og placering af knudepunkter for en væg bestående af flere lag af forskellige materialer. [11]

Inddelingen i kontrolvolumener sker automatisk i BSim2002, men hvis der ønskes en finere inddeling kan det ske manuelt. Inddelingen sker således at hvert kontrolvolumen indeholder samme termiske masse. Inddelingen i mindre kontrolvolumener vil dog gøre beregningstiden længere især hvis modellen er meget kompliceret. Generelt er beregningstiden dog ganske hurtig på en moderne PC.

Beregningerne af varmetransporten internt i konstruktionerne foregår instationært. At beregningerne er instationære betyder at der tages hensyn til at der mellem hvert tidskiddt kan oplagres varme i konstruktionerne. Den oplagrede varmemængde af hænger af materialets varmekapacitet. Hastigheden af ændringer i materialets temperatur afhænger af materialets varmeledningsevne. Generelt har lette materialer en lille varmekapacitet og varmeledningsevne, dette ses bl.a. i isoleringsmaterialer. Tunge materialer som beton har en stor varmeledningsevne og varmekapacitet, derfor er beton særdeles velegnet til at udjævne temperaturændringer ved at den lagrede varme afgives på et senere tidspunkt. Varmetransporten til og fra konstruktionerne sker gennem et knudepunkt på overfladen, der samvirker med beregningerne af lufttemperaturen i zonen.

Selvom bygningsmodellen opbygges i 3D så benyttes dette ikke direkte i de termiske beregninger i BSim2002. Beregningerne baseres i stedet på arealer og volumener samt fladernes indbyrdes placering. 3D-modellen benyttes dog i den del af BSim2002 der kaldes XSun. Dette delprogram benytter 3D-modellen til at beregne solindfaldet gennem vinduer. Det er dog muligt af få BSim2002 til at anvende XSun til at beregne solindfaldet der bruges i de termiske beregninger i Tsbi5. Det er desuden muligt at få XSun til at lave en animation af solindfaldet i modellen.

Varmebalancen for luften i en zone beregnes ud fra varmestrømme gennem konstruktioner samt vinduer og døre. Derudover indgår varmetab som følge af ventilation og infiltration samt varmetilskud fra solindfald og intern belastning fra personer og udstyr. Ved beregningerne tager BSim2002 højde for hvornår de enkelte systemer er aktive ved hjælp af et tidsskema der defineres for hvert system.

Ligningssystemet for varmebalancen i en zone er i vist på bilag /2/.

Beregningen af varmestrømme og overfladetemperaturen for konstruktioner samt lufttemperaturen kræver kendskab til alle temperaturer i tilstødende zoner og overfladetemperaturer. Dette kan løses ved hjælp af et ligningssystem hvor alle temperaturer for alle zoner løses på en gang. Dette løses dog simplificeret i BSim2002 ved først at beregne lufttemperaturen i hver zone ved at benytte det aktuelle varmetilskud og forrige tidsskridts transmissionstab. Dernæst udføres beregninger for konstruktionerne med den nye lufttemperatur. Til sidst beregnes lufttemperaturen endnu en gang med anvendelse af de nye transmissionstab og overfladetemperaturer. Det kan vælges ikke at udføre sidste beregning ved at fravælge "optimized simulation" under "options" i BSim2002. Samme sted kan der manuelt vælges lagtykkelse for kontrolvolumener og længde af tidsskridt, hvis der ønskes en finere inddeling end den BSim2002 automatisk vælger.

Anvendt version af BSim2002 i dette projekt er version 3.4.3.16 [12][11].

4.1.2 - BuildingCalc

BuildingCalc er et simplificeret simuleringsprogram, der til forskel fra BSim2002 kun giver mulighed for at regne på en zone ad gangen. Programmet er udviklet i Matlab⁶ af Toke Rammer Nielsen (BYG.DTU).

Programmet er i stand til at regne på det termiske indeklima, hvor der medtages belastninger fra solindfald og interne belastninger. Ved beregning af solindfald kan der tages højde for skyggevirksomheder fra genstande uden for bygningen.

⁶ Matlab er et matematisk beregningsværktøj beregnet til tekniske formål. (www.mathworks.com)



Figur 4: Åbningsmenu i BuildingCalc [13]

Opbygningen af bygningsmodellen foregår i BuildingCalc gennem indtastninger i et grafisk brugerinterface.

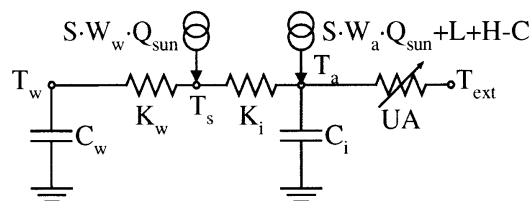
Beregningsprincip

Beregningen foregår ligesom i BSim2002 ved at regne på modellen som knudepunkter. Hvor BSim2002 består af flere zoner og dermed flere knudepunkter så er BuildingCalc opbygget som en to-knude model der repræsenterer temperaturen af hhv. indeluften og den indvendige overflade af rummet, samlet i en fælles knude for alle overflader. Disse to knuder samvirker med hinanden samt med udeluften og effekt lagret i konstruktioner og indeluft. Det er desuden muligt at tilføje ekstra varmekapacitet til indluften, for at simulere eventuelle møbler. Som standard regnes varmekapaciteten af indeluften som:

$$C_a = 1,205 \cdot 1005 \cdot (\text{Volumen af lokalet}) \text{ [J/K]}.$$

Til de to knuder tilføres belastning fra solindfald, og til knuden for indluften tilføres eller fjernes desuden belastning fra opvarmning, udstyr/personer og køling.

Den termiske to-knude model er vist på Figur 5



Figur 5: Termisk to-knude model. [14]

Ligningssystemet for den termiske to-knude model er vist på bilag /3/.

Da programmet bygger på en simpel termisk model, er transmissionstabet gennem vinduer og ydervægge samlet i en fælles UA-værdi [W/K]. UA-værdien for konstruktionerne betegnes i BuildingCalc som UA_c. Det samlede varmetab til omgivelserne der betegnes som UA indeholder også varmetabet som følge af ventilation og infiltration.

Varmekapaciteten for konstruktionerne er ligeledes samlet i én værdi. Denne varmekapacitet samvirker med lufttemperaturen i zonen gennem en fælles overflade temperatur for konstruktioner. I modsætning til BSim2002 indeholder BuildingCalc ikke nogen viden om de indvendige overfladers indbyrdes placering og størrelser.

Styring af opvarmning, køling og ventilation kan styres lidt mere avanceret. Styringen foregår ved indtastning i et tidsskema, hvor det er muligt at angive setpunkter, belastninger, luftskifte m.v.. Alle styringer og reguleringer foregår efter temperaturen af indeluften, det er således ikke muligt at benytte f.eks. solindfaldet som parameter.

Beskrivelse af referencemodel opbygget i BuildingCalc.

Da BuildingCalc er et forholdsvist simpelt simuleringsprogram uden grafisk opbygning af modellen, sker opbygningen ved at indtaste værdierne for bygningen og systemerne vha. menufunktioner.

Da BuildingCalc er opbygget i Matlab er det muligt direkte at gå ind i koden til BuildingCalc og ændre måden beregningerne foregår på samt at tilføje nye funktioner, dette er en klar fordel i forhold til BSim2002 hvor man er mere bundet af det færdige program.

I BuildingCalc foregår indtastningen af konstruktionsoplysningerne meget simplificeret. Det er således ikke muligt at angive enkelte bygningsdeles egenskaber, men egenskaberne "lægges sammen". Transmissionstabet indtastes f.eks. som en UA-værdi [W/K] der dækker transmissionstabet fra lokalet gennem vinduer og omgivende vægelementer. Det er heldigvis ikke kompliceret at beregne denne værdi. Men ved en eksisterende model kan det ikke umiddelbart ses hvilke dele facaden består af.

I den aktuelle referencemodel er UA-værdien beregnet som det fremgår af nedenstående skema. Referencemodellen er beskrevet i det følgende afsnit. [14][13]

	U-værdi [W/m ² K]	Areal A [m ²]	Linietaf [W/m K]	Længde [m]	UA [W/K]
Vinduer					
Rude, center	1,300	3,840			4,992
Rude, kant			0,060	16,000	0,960
Karm	1,800	1,480			2,664
Vægelement	0,301	4,130			1,241
				UA total	9,857

Tabel 1: Beregning af UA-værdi til brug i BuildingCalc

4.2 - Beskrivelse af referencemodel

Referencemodellen anvendt i dette projekt er baseret på en referencemodel der er opstillet i forbindelse med IEA task 27⁷. Task 27 subtask A der er et projekt udført under ledelse af IEA, består i at opstille en model af et kontorbyggeri. Denne referencemodel er beregnet til brug i forbindelse med beregninger af bygningers termiske egenskaber herunder beregninger hvor solindfald og lysforhold indgår. En sådan referencemodel giver mulighed for at sammenligne resultater selvom beregningerne ikke nødvendigvis udføres i samme beregningsprogram.

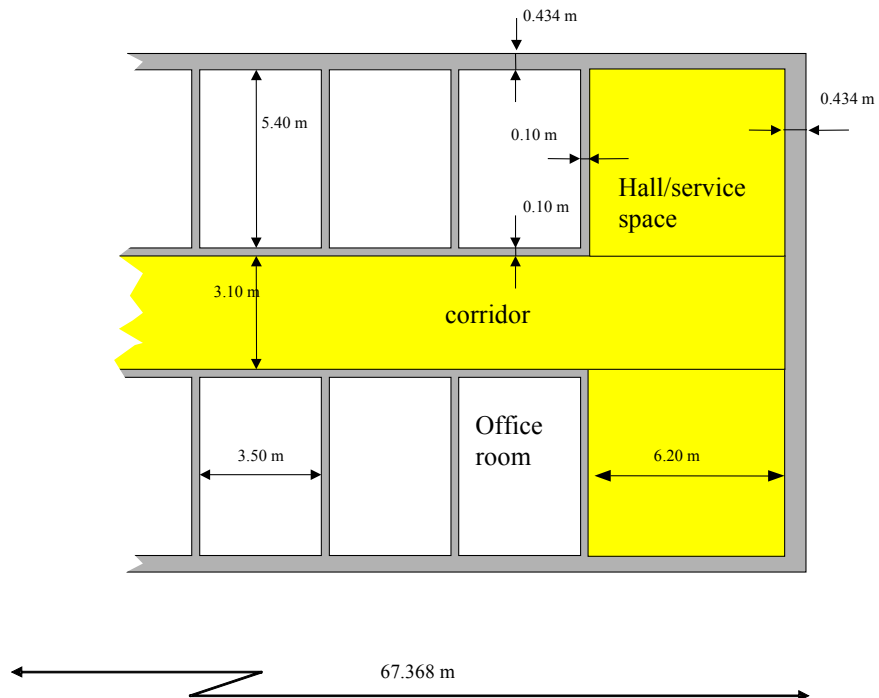
Afhængig af hvilket program der anvendes til simuleringerne kan detaljeringsgraden variere, men referencemodellen indeholder data til brug for de fleste simuleringsforhold f.eks. bygningsudformning, anvendte konstruktioner og interne belastninger.

4.2.1 - Bygningens udformning

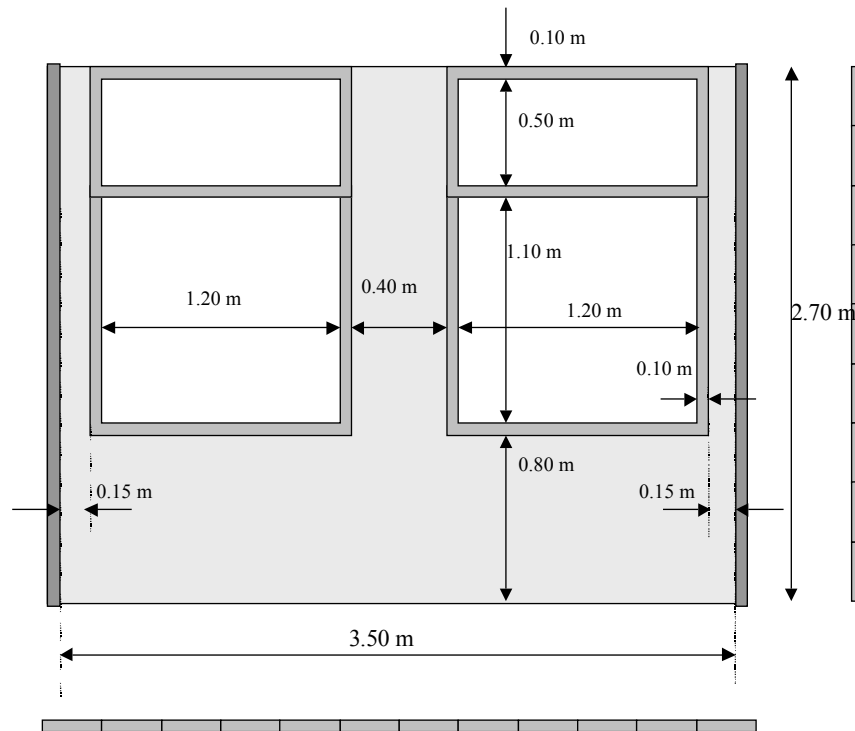
Reference bygningen er udformet som et forholdsvis traditionelt kontorhus på 7 etager. På hver etage findes der 15 kontorlokaler fordelt på hver side af en midtergang. I hver ende af bygningen forefindes trappe- og teknikrum. Trappe- og teknikrum indgår ikke i opbygningen af modellen til simuleringer i BSim2002 og BuildingCalc.

⁷ IEA, International Energy Agency – Solar Heating & Cooling Programme.
Task 27 omhandler ydeevne, holdbarhed og driftssikkerhed af avancerede vindues- og solenergikomponenter anvendt i bygningsfacader.

Intelligent byggeri – med og uden teknologi
Eksamensprojekt ved BYG·DTU - 2005



Figur 6: Udsnit af etageplan der viser placering af kontorer og gangarealer [15]



Figur 7: Facade for referencekontor [15]

Af Figur 6 ses hvorledes de enkelte kontorer er placeret og orienteret i forhold til etageplanen. Af Figur 7 ses placering af vinduer i facaden for et enkelt kontor. Af begge figurer fremgår mål på bygningsdelene.

Da hele udformningen af bygningen er beskrevet er det muligt at lave en simulering af hele bygningen. Men da alle etager og kontorer er ens vil en sådan simulering ikke give den store forskel i langt hovedparten af kontorene. Derfor angives referencemodellen som et udsnit af hele bygningen. Dette udsnit består af to kontorer på hver side af et stykke af gang. Samtidig skal dette udsnit befinde sig i midten af bygningen, således at der er tilsvarende kontorer på alle sider. Denne forenkling vil kun være acceptabel så længe det antages at alle de omkringliggende kontorer har identiske forhold.

I BSim2002 er det muligt at opbygge en model som der her er angivet, da BSim2002 har mulighed for at regne på flere zoner samtidigt. I BuildingCalc er det kun muligt at regne på en zone ad gangen, man kan derfor vælge om denne ene zone skal gå fra facade til facade, eller om der kun regnes på at zonen dækker kontoret ved en facade ad gangen. Dette er selvfølgelig en begrænsning der kan give mere ekstreme resultater, da det ikke er muligt at blande luften mellem kontorerne.

4.2.2 - Konstruktioner

Konstruktionerne der anvendes i referencemodellen er opbygget som i beskrivelsen af konstruktioner i IEA Task 27.

I følge kravene opstillet i det gældende bygningsreglement for Danmark skal U-værdien for ydervægge være højst $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ for en ydervæg med en vægt over 100 kg pr. m^2 .

Facadeopbygning i referencekontor brugt i BSim2002 og BuildingCalc

Ude	D [m]	λ [W/mK]	R [$\text{m}^2\text{K/W}$]
Udv. overgangsisolans			0,040
Ekstern overflade	0,01	1,00	0,010
Mineraluld	0,12	0,04	3,000
Sandsten	0,21	2,50	0,084
Intern overflade	0,02	0,25	0,060
Indv. overgangsisolans			0,130
Inde		$\Sigma R =$	3,324

Tabel 2: facadeopbygning for referencekontor, udformning brugt i BSim2002 og BuildingCalc [16]

Denne opbygning giver en U-værdi på ca. $0,301 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dette er vurderet til at være tilstrækkeligt tæt på kravet i bygningsreglementet til den anvendelse U-værdien er benyttet til i denne rapport.

4.2.3 - Bygningens brug og HVAC⁸-systemer

Bygningen er udformet som et kontorbyggeri og belastninger og systemer er tilpasset herefter. Bygningen antages således at være i drift mandag til fredag kl. 06-18, Uden for denne periode benyttes andre setpunkter⁹ for opvarmning og køling. Den mekaniske ventilation er ligeledes ikke i drift uden for brugstid.

Setpunkter for varme- og kølesystem ifølge IEA Task 27:

	Tidspunkt	Opvarmning	Køling
Mandag-fredag	00:00 – 06:00	16 °C	Ingen køling
	06:00 – 18:00	20 °C	26 °C
	18:00 – 24:00	16 °C	Ingen køling
Weekend	00:00 – 24:00	16 °C	Ingen køling

Tabel 3: Setpunkter for varme- og kølesystem [16]

Interne laster

I moderne kontorbyggeri præges indeklimaet af store interne laster fra personer og især fra kontorudstyr som computere, printere m.v.. Heldigvis medfører nye teknologier som fladskærme at belastningen reduceres noget.

Intern belastning i brugstid:

Ifølge IEA Task 27 antages det at der per kontorlokale er 1,5 personer til stede 5 dage om ugen. Og at varmeafgivelsen per person er 70 W, samlet for et lokale 105 W (1.5 pers. x 70 W/pers.=105 W). Dette vurderes at være lidt lavt da varmeafgivelsen fra en stillesiddende person normalt antages at være på ca. 100 W [17].

I følge P. O. Fanger [18] afhænger varmeafgivelsen fra personer af den fysiske aktivitet. Den fysiske aktivitet regnes i met¹⁰, hvor 1 met = 58 W/m² kropsoverflade. En person antages at have en kropsoverflade på ca. 1,8 m². For en aktivitet svarende til stillesiddende kontorarbejde antages en met-værdi på 1,2 svarende til 70 W/m².

Beregnet ud fra de værdier der normalt antages svarer varmeafgivelsen i lokalet på 105 W til én person med et aktivitetsniveau svarende til 1 met (1 met x 1,8 m² = 104,4 W). For ikke at ændre i forhold til referencemodellen beholdes den eksisterende værdi på 105 W tilført til lokalet fra personer.

8 HVAC – **H**eating, **V**entilation & **A**ir **C**ondition, En international betegnelse for de systemer der indgår i bygningens varme- og kølesystem.

9 Setpunktet er den forindstillede temperatur hvorved et varme- eller kølesystem aktiveres.

10 Met forkortelse af metabolisme, dvs. stofskifte

Tid [time nr.]	Brugsgrad [*]	Belastning [W]
6	0,000	0,00
7	0,059	4,13
8	0,490	34,30
9	1,129	79,03
10	1,188	83,16
11	1,233	86,31
12	1,069	74,83
13	0,490	34,30
14	0,802	56,14
15	1,099	76,93
16	1,084	75,88
17	0,950	66,50
18	0,416	29,12
19	0,089	6,23
20	0,015	1,05
21	0,000	0,00
Σ	10,113	707,91

Tabel 4: Personbelastning på timebasis brugt i BSim2002 [15]

*Samtidighedsfaktor gange 1,5 personer

I BuildingCalc er der i stedet for personbelastningen på timebasis brugt en gennemsnitlig belastning fra personer på 85% x 1,5 personer baseret på en 8 timers arbejdsdag. En samtidighedsfaktor¹¹ på 85% som angivet i IEA Task 27 giver en samlet belastning pr. dag på 714 W.

Der er i beskrivelsen af referencemodellen i IEA Task 27 ikke gjort rede for hvilken udstyr der antages brugt i lokalet. I følge "Indeklimahåndbogen" [17] antages en PC at afgive mellem 80 og 130 W, så den angivne belastning stemmer overens med en moderne PC. Belastningen fra belysning stammer fra 4 stk. Lysstofrør (TLD HF) på hver 50 W, hvor 67% af effekten afgives til rummet mens 33% bortventileres direkte.

¹¹ Samtidighedsfaktor er en angivelse af hvor meget af belastningen der er til stede samtidigt.

Intelligent byggeri – med og uden teknologi
Eksamensprojekt ved BYG•DTU - 2005

	Antal	Effekt [W]	Samtid. faktor [%]	Belastning [W]
Personer**	1,5	70	85	89,3
Udstyr	1,5	115	100	172,5
Lys	1	134	67	89,8
			Σ belastning	351,5

Tabel 5: Samlet belastning i kontorlokale brugt i BuildingCalc og BSim2002 [15]

***I BSim2002 benyttes personbelastningen fra Tabel 4*

Intern belastning uden for brugstid:

Uden for brugstid er den eneste belastning på 18 W. Denne belastning antages at stamme fra standby forbrug fra diverse kontorudstyr, som PC, skærm mv.

	Antal	Effekt [W]	Samtid. faktor [%]	Belastning [W]
Udstyr	1	18	100	18,0

Tabel 6: Samlet belastning i kontorlokale brugt i BuildingCalc og BSim2002 [15]

En belastning på 18 W uden for brugstid er ikke højt, men det kan dog reduceres ved at der vælges udstyr med lavt standby forbrug. Dette er ikke så meget af hensyn til den varmeafgivelse udstyret har men mere et hensyn til unødvendigt strømforbrug.

5 - Intelligente klimaskærme

Begrebet "intelligente klimaskærme"¹² dækker i dette projekt over klimaskærme, der er opbygget på en måde således at funktionen kan tilpasses de aktuelle forhold. Denne tilpasning skal dog ske uden brug af teknologi. Det vil i dette projekt sige at energiforbruget til regulering eller styring er mindst muligt, og at systemet er passivt eller selvregulerende, uden et vedvarende energiforbrug til f.eks. ventilatorer og andre mekaniske installationer. Levetiden af bygningsdele varierer meget, men normalt er levetiden for selve bygningen og dermed klimaskærmen meget længere end levetiden af de tekniske installationer, ligesom tekniske installationer kræver løbende vedligeholdelse for at fungere korrekt.

Derfor bør klimaskærmen opbygges så den indeholder så få mekaniske enheder som muligt og dermed kræver mindst mulig vedligeholdelse.

I dette projekt undersøges muligheden for at undgå de bivirkninger øget isolering af bygninger har når der samtidigt er store belastninger fra bl.a. solindfald.

Dette bliver bl.a. omtalt i en artikel af Per Stabell Monby og Ejvind Løgberg i artiklen "Højisolering medfører køling" i Danvak Magasinet [19]. Problemet opstår primært i ikke-opvarmningsdominerede¹³ bygninger, hvor der når bygningen isoleres bedre vil være et større varmeoverskud der om nødvendigt må fjernes med aktiv køling og ventilation. Men hvis dette problem tages op til overvejelse fra starten af projekteringsfasen, kan der findes en balance mellem køle- og opvarmningsbehov. I artiklen nævnes at den ideelle løsning ville være en klimaskærm med variabel isoleringsevne, der ligesom mennesker og dyr smider "vinterpelsen" når det bliver varmt. Konstruktionen skal altså ikke kræve et energiforbrug når først ændringen har fundet sted. Den optimale løsning vil selvfølgelig være en konstruktion der slet ikke kræver tilførsel af energi men ved at materialet ændrer isoleringsevne i forhold til omgivelserne.

Dette princip svarer til det der undersøges i dette projekt, hvor klimaskærmen tilpasser isoleringsevnen mellem en isoleringsgrad svarende til kravet i bygningsreglementet og en isoleringsgrad der svarer til klimaskærmen helt uden isolering.

Selvom isoleringskravene i det kommende tillæg til bygningsreglementet skærpes, så lægges der samtidigt op til at bygningens energiforbrug ses mere som en helhed.

¹² Klimaskærm er en samlet betegnelse for de bygningsdele der adskiller ude- og indeklimaet.

¹³ Opvarmningsdomineret bygning, er en bygning hvor opvarmningen af bygningen sker vha. varmesystemet. Ikke opvarmningsdomineret bygning er en bygning hvor en stor del af opvarmningen sker ved varmeafgivelse fra kontormaskiner m.v.

En klimaskærm med variabel U-værdi, der ikke samtidigt kræver mekanisk styring, er endnu ikke en normal facadeudformning. Den løsning der nok kommer nærmest er beskrevet i en kort artikel i Ingeniøren [8], omhandlende en "intelligent vinduesbelægning" der ændrer rudens isoleringsgrad afhængig af temperaturen.

Andre eksempler på "intelligente klimaskærme" er dobbelte facader, der er en facadeopbygning hvor bygningen har en facade opbygget af to glaslag. Typisk et lag med lavenergigirude og et enkelt glaslag enten yderst eller inderst, og imellem de to lag er der placeret en persienne. Ved at placere persiennen mellem de to lag glas er den beskyttet mod vejrpåvirkninger. Derudover vil solindfald på persiennen medvirke til en øget opvarmning af luften mellem de to lag glas. Dette kan udnyttes enten ved at ventilere den varmere luft ind i lokalet bag ved facaden og derved få et tilskud til opvarmningen, eller luften kan bortventileres til udeluften ved naturlig ventilation og derved bortlede varme fra facaden [20].

En løsning der minder lidt om den dobbelte facade er solvægge. Solvæggene virker som en luftsolfanger, der i modsætning til den dobbelte facade ikke består af to lag glas, men af en mere traditionel facade evt. af beton eller murværk, hvor der uden på væggen er placeret et dæklag af glas. Muren er påført en belægning der gør den istand til af absorbere en stor mængde solenergi (evt. blot malet matsort). Væggen vil derfor, hvis den er af beton eller murværk, kunne lagre en mængde varme der kan udnyttes også efter solen er gået ned. Der findes en lang række forskellige opbygninger af solvægge, hvoraf nogle har mulighed for at ventilere facaden både med indeluft og udeluft [21].

5.1 - Variabel U-værdi

I dette projekt undersøges der som tidligere nævnt en løsning hvor klimaskærmen er konstrueret med en variabel U-værdi. Jeg har valgt at isoleringsevnen af klimaskærmen skal variere mellem et niveau der svarer til kravet i det gældende danske bygningsreglement, ca. $0,30 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ for en ydervæg med en vægt over 100 kg/m^2 [5], og op til et niveau svarende til en U-værdi når kun den samlede overgangsisolans¹⁴ for en ydervæg anvendes. Der benyttes altså en ydervæg der ikke indeholder nogle isolerende dele, men kun af en fiktiv tynd plade, for hvilken isolansen regnes at være ubetydelig. U-værdi beregnet svarende til indvendig og udvendig overgangsisolans:

$$U_{væg} = \frac{1}{(R_{si} + R_{se})} = \frac{1}{(0,13 + 0,04)} = 5,88 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

¹⁴ Overgangsisolans for vandret varmestrøm: Indvendig: $R_{si}=0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$. Udvendig: $R_{se}=0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ [22]

Grunden til at jeg har valgt at isoleringsevnen for facaden skal variere mellem hvad der svarer til gældende krav til en meget dårlig isoleringsevne, skyldes et ønske om at finde et muligt alternativ til aktiv køling der kan blive nødvendig når en kontorbygning der er godt isoleret oplever et stort varmetilskud fra maskiner og solindfald. Tanken er derfor at øge varmetabet gennem facaden når varmetilskuddet ellers ville medføre et behov for køling. At variere isoleringsgraden den modsatte retning, således at varmetabet sænkes er selvfølgelig også en mulighed, dog er det for kontorbyggeri ikke relevant i samme omfang. Men for boligbyggeri vil der være et større potentiale. Det er dog mindre sandsynligt at det kan betale sig økonomisk i mindre boliger. Der findes dog en form for "variabel U-værdi" i en del boliger. Her tænkes på ældre etlagsvinduer hvorpå der monteres en forsatsrude. Denne forsatsrude kan, hvis det ønskes, fjernes udenfor fyringssæsonen. For at undersøge om klimaskærme med "variabel U-værdi" muligvis kunne være en løsning til at reducere behovet for aktiv køling, opbygges en model af et kontorlokale hvor det er muligt at variere U-værdien i klimaskærmen. Forhåbentlig vil modellen vise at behovet for køling kan mindskes.

5.2 - Simulering i BSim2002

Effekten af at simulere et kontorlokale med en facade der indeholder en "variabel U-værdi" undersøges som tidligere nævnt i to simuleringsprogrammer.

En konstruktionsdel med "Variabel U-værdi" kan ikke umiddelbart simuleres i BSim2002, men programmet indeholder dog en såkaldt skodde funktion, der gør det muligt at variere U-værdien for et felt mellem to værdier. Funktionen er i BSim2002 tilknyttet et vindue, men for at det ikke skal give en ændring af solindfaldet i lokalet, er vinduet valgt opbygget uden rude men med en plade. Dette gør at der kan vælges mellem to U-værdier: en høj U-værdi uden skodder og en lav U-værdi der svarer til den eksisterende ydervæg når skodderne er i brug.

U-værdi for skodde svarer til U-værdien af den eksisterende facade:

$$U_{\text{skodde}} = 0,301 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$$

U-værdi uden skodde svarer til en U-værdi beregnet svarende til indvendig og udvendig overgangsisolans:

$$U_{\text{variabel}} = 5,88 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$$

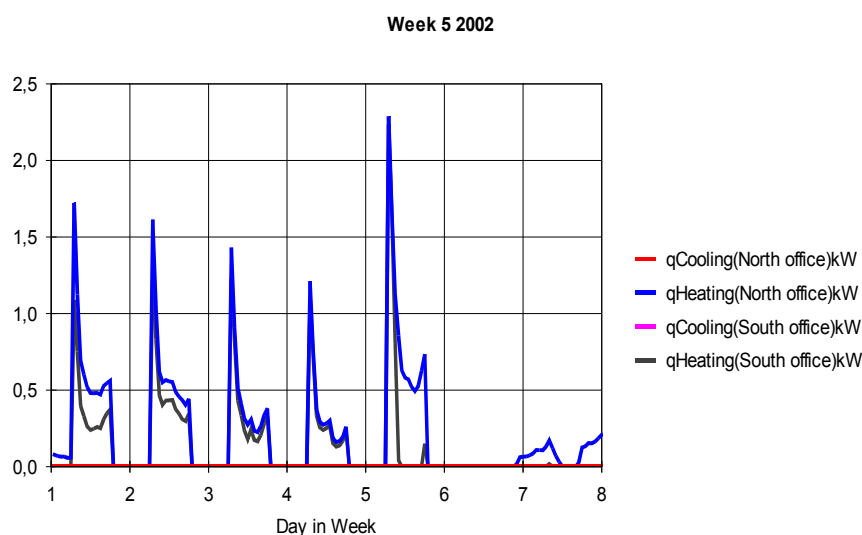
Styringen af skoddefunktionen foregår i BSim2002 ved at angive en nedre temperatur for udetemperaturen. Når temperaturen falder til under den angivne værdi aktiveres skodderne og lukker til således at varmetabet sænkes. Da der ikke ønskes et øget opvarmningsbehov sættes aktiveringen af skodderne til at gælde hele fyringssæsonen. Om sommeren sættes skodderne til kun at lukke i om natten hvis det er nødvendigt. Dette er selvfølgelig ikke optimalt, men skoddefunktionen i BSim2002 har den ulempe at skodden ikke går automatisk fra igen når temperaturen er over setpunktet, men i stedet forbliver med at være aktiveret hele perioden ud.

System aktivt →	Temperatur	Måneder	Dage	Timer
I varmesæson	10 °C	sep. - maj	Alle dage	Hele døgnet
Udenfor varmesæson	10 °C	jun. - aug.	Alle dage	17:00 - 08:00

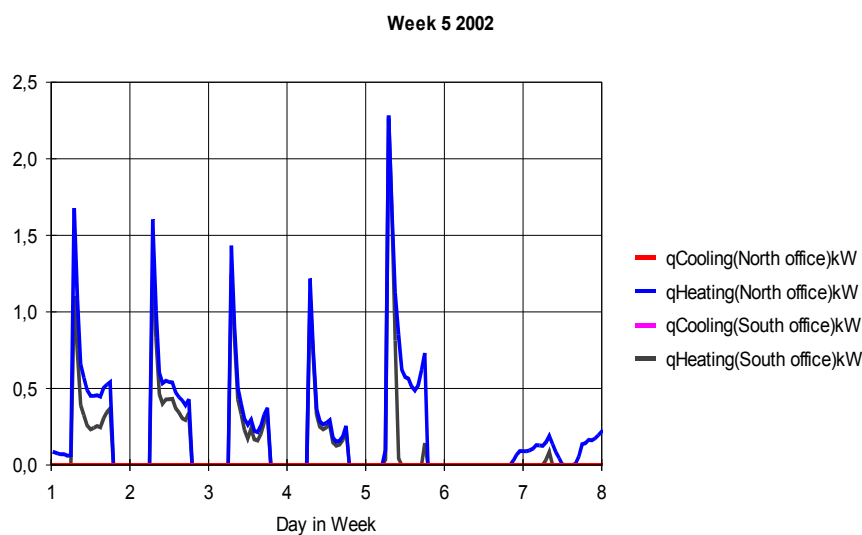
Tabel 7: Styringsparametre anvendt til styring af skoddefunktion.

5.2.1 - Opvarmning

Da ønsket med simuleringen er at beholde isoleringsevnen når der er et opvarmningsbehov, bør der ikke være nogen ændring i den nødvendige opvarmningseffekt (qHeating).



figur 8: Varme- og køleeffekt i uge 5 for referencemodel, beregnet i BSim2002

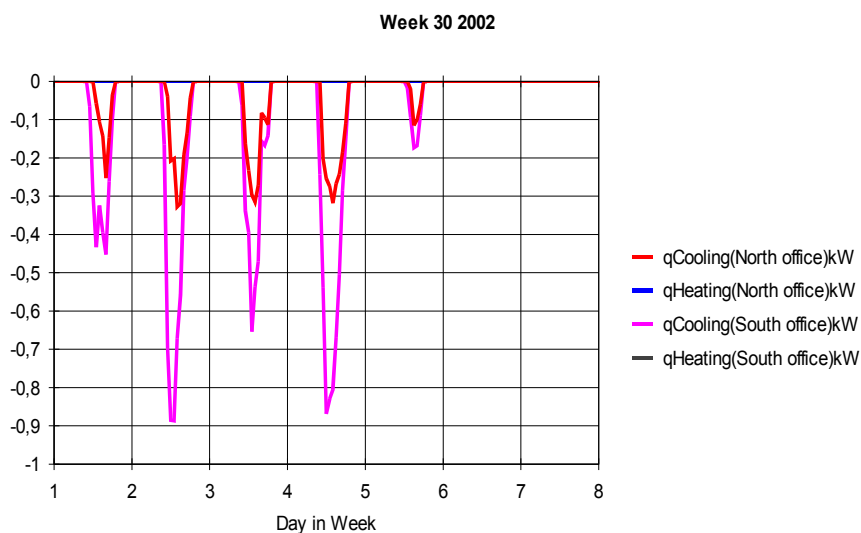


figur 9: Varme- og køleeffekt i uge 5 for variabel U-værdimodel, beregnet i BSim2002

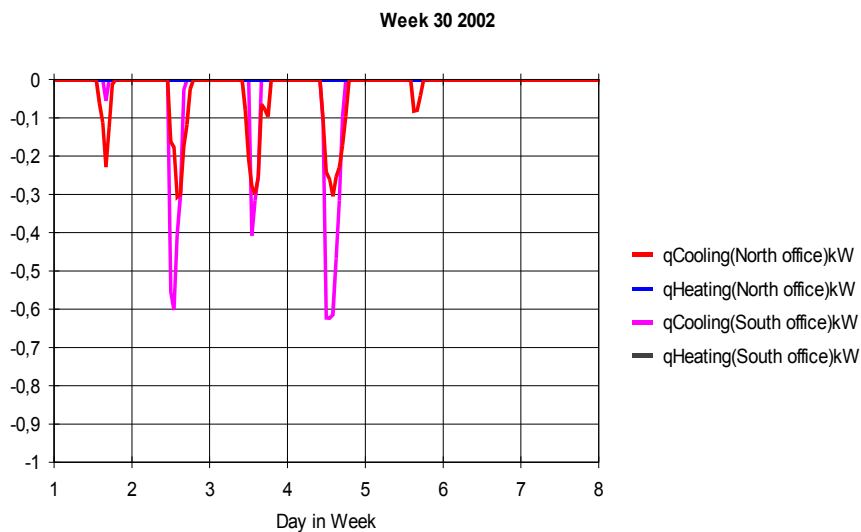
I uge 5 er der ikke den store forskel da skodderne er for stort set hele tiden og U-værdien for væggen og varmetabet dermed er ens for begge tilfælde. Resultatet er dermed som forventet.

5.2.2 - Køling

I sommermånederne uden for opvarmningssæsonen ønskes kølebehovet reduceret, ved at varmetabet forøges når skodden fjernes. Køleeffekten er angivet som q_{Cooling} .



figur 10: Varme- og køleeffekt i uge 30 for referencemodel, beregnet i BSim2002



figur 11: Varme- og køleeffekt i uge 30 for variabel U-værdimodel, beregnet i BSim2002

I uge 30 ses det at kølebehovet er faldet da skodderne ikke er for og varmetabet dermed er større.

5.2.3 - Vurdering af resultater

Selvom resultaterne viser at opvarmningsbehovet ikke stiger og kølebehovet sænkes, så er BSim2002 ikke specielt velegnet til at simulere konstruktioner med variabel U-værdi, når dette forsøges opnået ved anvendelse af BSim2002's indbyggede skoddefunktion.

Skoddefunktionen i BSim2002 er primært en funktion beregnet til at reducere varmetabet om natten eller en længere sammenhængende periode. Dette har den betydning at når funktionen aktiveres, f.eks. ved en forudsat temperatur, så er funktionen aktiv i hele den angivne periode f.eks. hele natten. Skoddefunktionen medfører heller ikke en egentlig variabel U-værdi, men blot to når skodden er aktiveret eller ikke er aktiveret

Da brugen af skoddefunktionen i Bsim2002 således er svær at få til at fungere som en væg med variabel U-værdi, benyttes BSim2002 ikke til yderligere simuleringer i dette projekt.

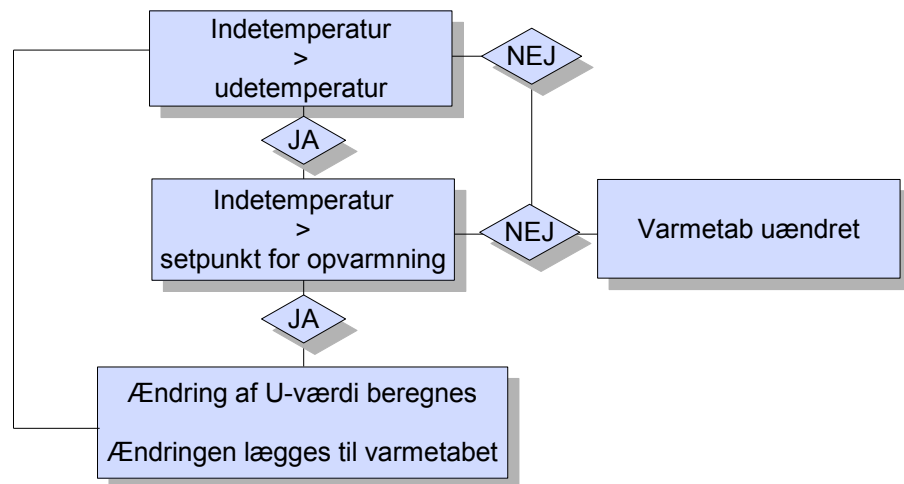
I den øvrige del af rapporten opbygges i stedet en model i BuildingCalc, hvor der er bedre mulighed for at tilpasse funktionerne som det ønskes. Opbygningen af modellen i BuildingCalc beskrives i det følgende afsnit.

5.3 - Simulering af variabel U-værdi i BuildingCalc.

I forhold til BSim2002 har BuildingCalc den fordel at det er muligt at lave ændringer i den måde beregningerne foretages på direkte i koden der er skrevet i Matlab.

Variabel U-værdi simuleres i BuildingCalc ved at indsætte en funktion i koden til BuildingCalc der gør at U-værdien ændres når varmetilskuddet fra intern belastning og solindfald overstiger varmetabet.

Funktionen fremgår af rutediagrammet nedenfor.



figur 12: rutediagram for simulering af U-værdi i BuildingCalc

Nedenfor ses koden der indsat i BuildingCalc ændrer U-værdien når varmetilskuddet er større end varmetab.

```

%-----
% This section has been added by Jacob Nielsen
%-----
%Variable insulationvalue of external wall, for cooling
%-----
[dummy(i),dummy(i),exload]=calc_load(TwO,TaO,Tout(i),UA,Ki,Kw,Cw,Ca,S(i),wa,ww,Qsun(i),...
Load(i),Tcool(i));

if [Ta(i)>Tout(i)] & [Ta(i)>Tset(i)]
    deltaUA=exload/(Tout(i)-Ta(i));
    UAcmx=UAc*3.3;
    deltaUAc=min(deltaUA,UAcmx);
    UA=UA+deltaUAc;
    [Ta(i),Tw(i)]=calc_temp(TwO,TaO,Tout(i),UA,Ki,Kw,Cw,Ca,S(i),wa,ww,Qsun(i),Load(i));
end
%-----
%-----

```

figur 13: Matlab-koden for simulering af variabel U-værdi i BuildingCalc

Ændringen af koden til beregninger af det termiske indeklima foretages ved at indsætte ovenstående i funktionen "Twonodes2" der indeholder beregningsdelen i BuildingCalc.

Til at simulere væggen med variabel U-værdi skal der beregnes en ny UA-værdi for konstruktioner.

Ændringen af UA-værdien findes ved at beregne belastningen i zonen og dele denne med temperaturforskellen mellem inde og ude. Derved fås en ændring af UA-værdien der er styret af belastningen. Og ved at gøre den afhængig af temperaturen bliver ændringen lille hvis udetemperaturen er meget lavere end indetemperaturen.

I Matlabkoden betegnes UA-værdien for konstruktioner med UAc og den nye værdi betegnes UA_{max}. Uac_{max}-værdien benyttes for at undgå at varmetabet gennem facaden ikke går hen og bliver unormalt høj da dette vil kunne give nogle forkerte resultater. Dette skyldes at BuildingCalc ikke indeholder en kontrol af de beregnede værdier, derved kunne der opstå en situation hvor BuildingCalc tror der forsvinder så meget effekt at der opstår et opvarmningsbehov.

	U-værdi [W/m ² K]	Areal A [m ²]	Linietaf [W/m K]	Længde [m]	UA [W/K]
Vinduer					
Rude, center	1,300	3,840			4,992
Rude, kant			0,060	16,000	0,960
Karm	1,800	1,480			2,664
Vægelement	5,882	4,130			24,294
				UA total	32,910

Tabel 8: Beregning af UA-værdi til brug i BuildingCalc

Oprindelig værdi af UA-værdi 9,857

Forhold mellem oprindelig UA-værdi og ny UA-værdi er ca. = 3,3 x

Ved beregning af værdien for facaden med "variabel U-værdi" er det antaget at hele vægelementet uden vinduer ændrer U-værdi. Dette vil i praksis ikke være tilfældet da konstruktionen vil være opbygget og monteret på en måde så der vil opstå kuldebroer, der normalt reducerer facadens isoleringsevne, men i tilfældet med den "variable U-værdi" ville gå hen og forøge isoleringsevnen. I praksis vil konstruktionens U-værdi, i tilfældet med "variabel U-værdi", være en anelse lavere end den der benyttes som maksimal U-værdi i dette projekt.

Løsningen med vægelementer med "variabel U-værdi" kræver selvfølgelig at der er anvendes facadeelementer der ikke udelukkende består af vinduer fra gulv til loft.

5.4 - Beregninger og resultater

Resultaterne fra modellen med variabel U-værdi sammenlignes med resultaterne fra referencemodellen. Det ønskes at ændringen ingen, eller kun ringe, effekt har på opvarmningsbehovet, da hensigten med simuleringen er at forsøge at minimere behovet for køling, da dette tænkes at blive større når bygningerne isoleres bedre. Dette vil selvfølgelig have størst effekt i bygninger med et stort internt varmetilskud.

Jeg har valgt at undersøge 3 tilfælde hvor "variabel U-værdi" benyttes.

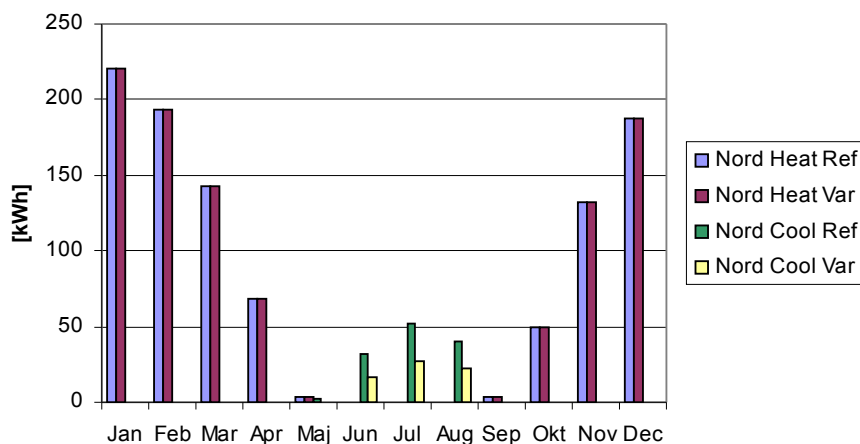
- Første tilfælde er baseret på referencemodellen uden andre ændringer end tilføjelse af "variabel U-værdi".
- I andet tilfælde er den aktive køling ikke aktiveret. Derved bliver det muligt at se hvor afhængig bygningen er af benyttelse af aktiv køling, samt om bygningen evt. kunne undvære den aktive køling hvis der benyttes en variabel U-værdi for facaden.
- I tredje tilfælde er den aktive køling aktiveret, men der tilføjes en solafskærmning. Solafskærmningen er ikke medtaget i den oprindelige referencemodel, men solafskærmning er et normalt tiltag i forbindelse med regulering af solindfald i bygninger. Afhængig af solafskærmningens udformning er det muligt at regulere varmetilskud og lysindfald eller lysindfald alene.

5.4.1 - Med aktiv køling

I den første simulering undersøges det hvilken effekt løsningen med variabel U-værdi har sammenlignet med den oprindelige referencemodel når der ikke anvendes andre energibesparende tiltag eller ændringer i øvrigt.

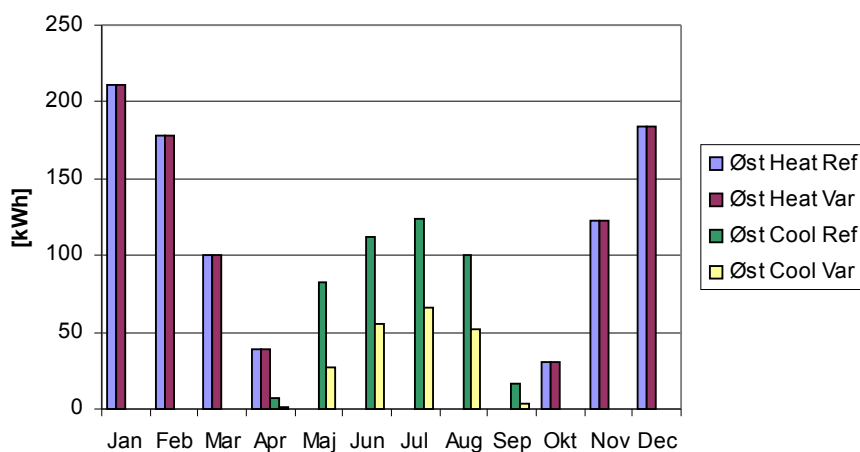
I første omgang undersøges det hvilken effekt brugen af variabel U-værdi har på opvarmnings- og kølebehovet i kontorlokalet.

Resultater for varme- og køleeffekt:



figur 14: Varme- og køleeffekt for nordvendt lokale

Resultaterne for det nordvendte lokale viser at opvarmningseffekten er konstant, mens køleeffekten falder lidt i sommermånederne. Totalt -59 kWh, hvilket svarer til en besparelse på 47%. Dette var forventet da der i det nordvendte lokale kun er et lille solindfald.

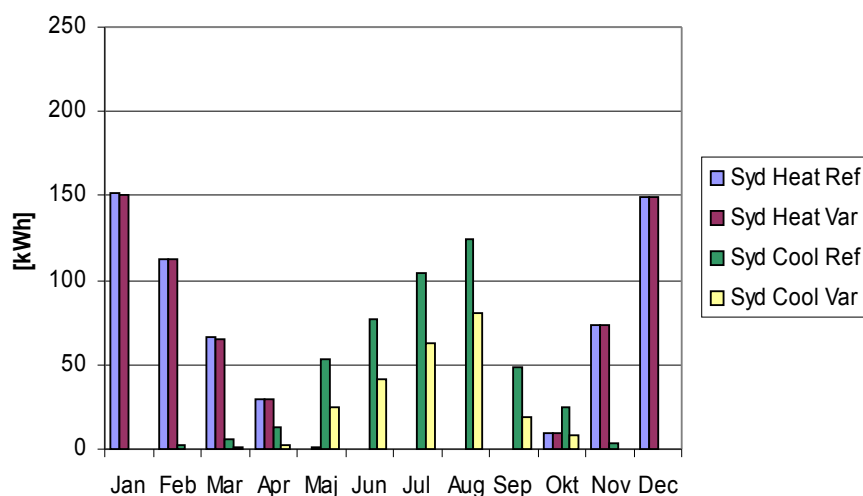


figur 15: Varme- og køleeffekt for østvendt lokale

Resultaterne for det østvendte lokale viser at opvarmningseffekten er konstant, mens køleeffekten falder meget i sommermånederne. Totalt -238 kWh, hvilket svarer til en besparelse på 54%.

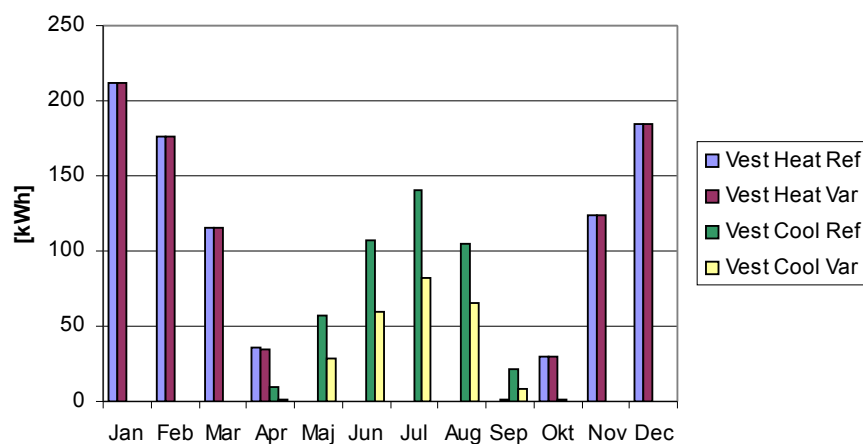
Intelligent byggeri – med og uden teknologi

Eksamensprojekt ved BYG•DTU - 2005



figur 16: Varme- og køleeffekt for sydvendt lokale

Resultaterne for det sydvendte lokale viser at opvarmningseffekten falder lidt i vintermånederne (totalt -4 kWh), mens køleeffekten falder meget i sommermånederne. Totalt -218 kWh, hvilket svarer til en besparelse på 48%.



figur 17: Varme- og køleeffekt for vestvendt lokale

Resultaterne for det vestvendte lokale viser at opvarmningseffekten stort set er uændret (totalt -1 kWh), mens køleeffekten falder meget i sommermånederne. Totalt -197 kWh, hvilket svarer til en besparelse på 45%.

Dette stemmer godt overens med resultaterne for det østvendte lokale. Besparelsen er lidt mindre selvom den samlede køleeffekt for de to orienteringer i referencetilstanden er ca. den samme. Dette skyldes at selvom den samlede effekt tilført fra intern belastning og

solindfald over et døgn næsten er ens for de to orienteringer, så er der om morgenen en lavere intern belastning samtidigt med solindfald for det østvendte lokale, hvorimod det vestvendte lokale om eftermiddagen har høj intern belastning samtidigt med solindfald.

Resultater for temperaturen

Hovedformålet med ændringen i U-værdien er at få et mindre kølebehov, men hvis temperaturen også kan sænkes i de varmeste perioder vil dette selvfølgelig være en fordel. Temperaturen må dog helst ikke falde så meget at den kommer under setpunktet for opvarmning da dette vil aktivere opvarmningssystemet.

Samtidigt vil det ikke kunne accepteres hvis temperaturen i arbejdstiden bliver så lav at der opstår diskomfort.

Der vises resultater for temperaturen i juni og december, dette skyldes at solindfaldet i disse måneder er solindfaldet hhv. størst og mindst.

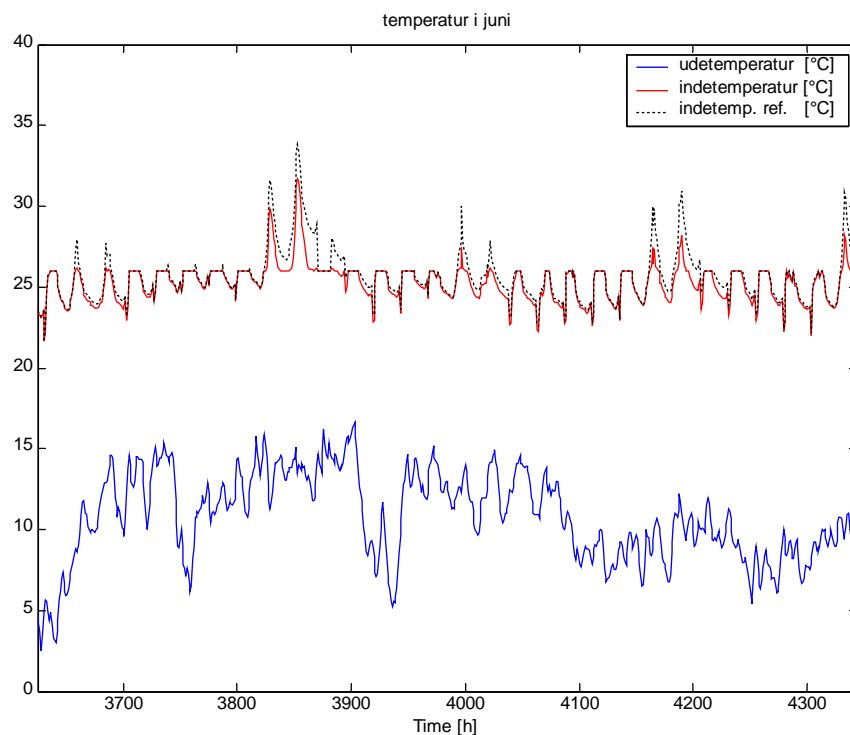
- Globalstråling i juni : 5495 Wh/m²
- Globalstråling i december: 333 Wh/m²

Værdierne er for Design Reference Year [18]. DRY-datasæt indholder udover værdier for globalstråling også udetemperatur, luftfugtighed m.v..

Ifølge DS 474 [23] kan det i varme sommerperioder tillades at indetemperaturen overstiger 26°C i højst 100 timer i løbet af et år. Dette gælder når personerne udfører stillesiddende kontorarbejde og er iført let påklædning.

Problemet med at undersøge om dette er overholdt i den undersøgte model er at BuildingCalc regner køleeffekten som altid tilstrækkelig. Derved vil temperaturen aldrig overstige 26°C når det aktive kølesystem er aktiveret, hvis ellers setpunktet for aktiv køling er sat til 26°C.

Af nedenstående figur fremgår temperaturen i det sydvendte lokale for juni måned for hhv. reference lokale og lokale med variabel U-værdi.

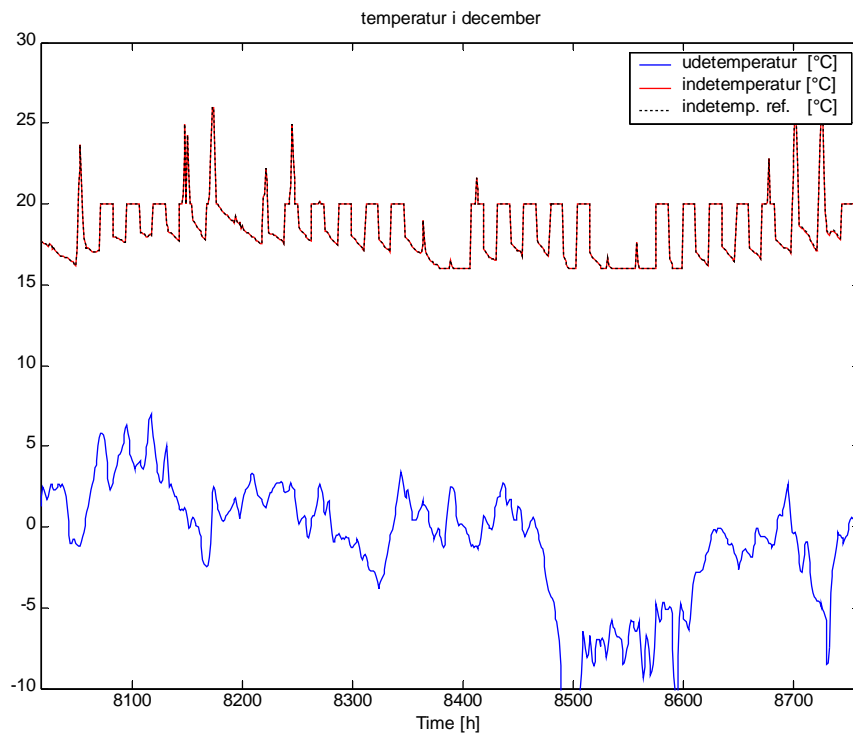


figur 18: Temperaturer i sydvendt lokale i juni måned

Som det fremgår af figuren så er temperaturen sjældent over kølesetpunktet på 26°C. Dette skyldes det aktive kølesystem der er aktivt alle hverdage i arbejdstiden, og således holder temperaturen nede.

Det fremgår tydeligt at temperaturen for lokalet med variabel U-værdi ikke oplever så høje temperaturer i weekenden så ofte som referencelokalet. De laveste værdier der optræder om natten er stort set ens for de to tilfælde. Dette har dog ingen betydning for komforten da temperaturen stadig er tilstrækkelig høj til at der ikke kræves opvarmning. Eftersom lokalet der simuleres er et kontorlokale vil der med stor sandsynlighed ikke være personer tilstede.

Af nedenstående figur fremgår temperaturen i det sydvendte lokale, for december måned, for hhv. referencelokale og lokale med variabel U-værdi.



figur 19: Temperaturer i sydventt lokale i december måned

Af ovenstående figur fremgår det at der ikke er nogen større forskel mellem reference lokalet og lokalet med variabel u-værdi. Kun ved temperaturer over 26°C falder temperaturen.

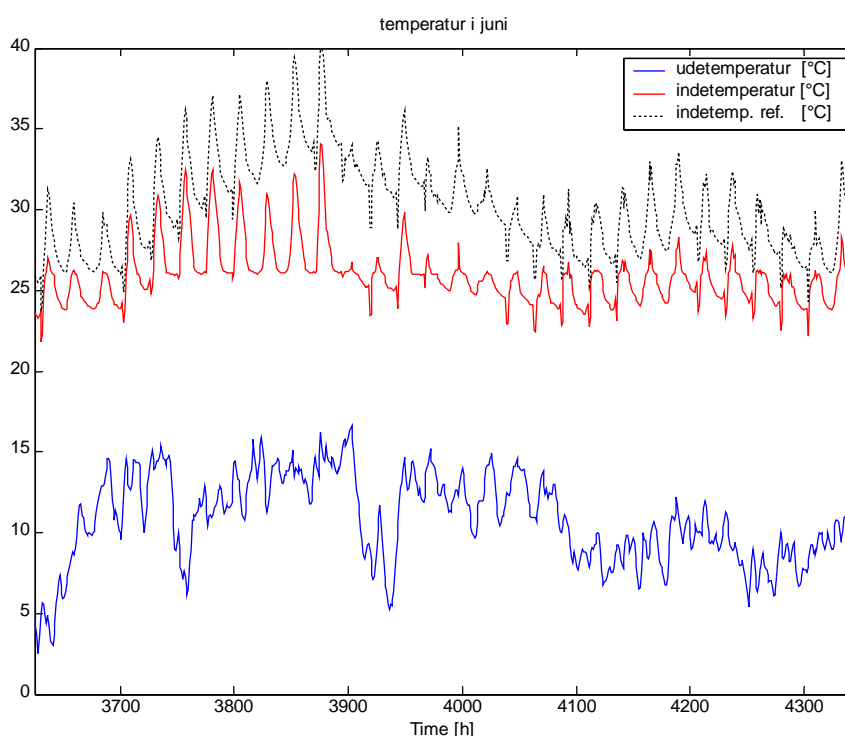
Den lave temperatur på 16°C er ikke en fejl, men setpunktet for opvarmning uden for normal brugstid.

Den variable U-værdi har altså som forudsat ikke medført temperaturændringer der har betydning for komforten. Dette stemmer overens med at den tilførte opvarmningseffekt næsten er ens for referencemodellen og modellen med variabel U-værdi.

5.4.2 - Uden aktiv køling

Da der er slukket for den aktive køling er der selvfølgelig ikke noget effektforbrug til køling, derfor sammenlignes kun temperaturerne. Der vil selvfølgelig være et effektforbrug til opvarmning, men forskellen mellem referencemodellen og modellen med variabel U-værdi er så lille at det ikke har nogen større betydning.

Nedenfor ses temperaturerne for juni måned. Hhv. Reference model og model med variabel U-værdi.



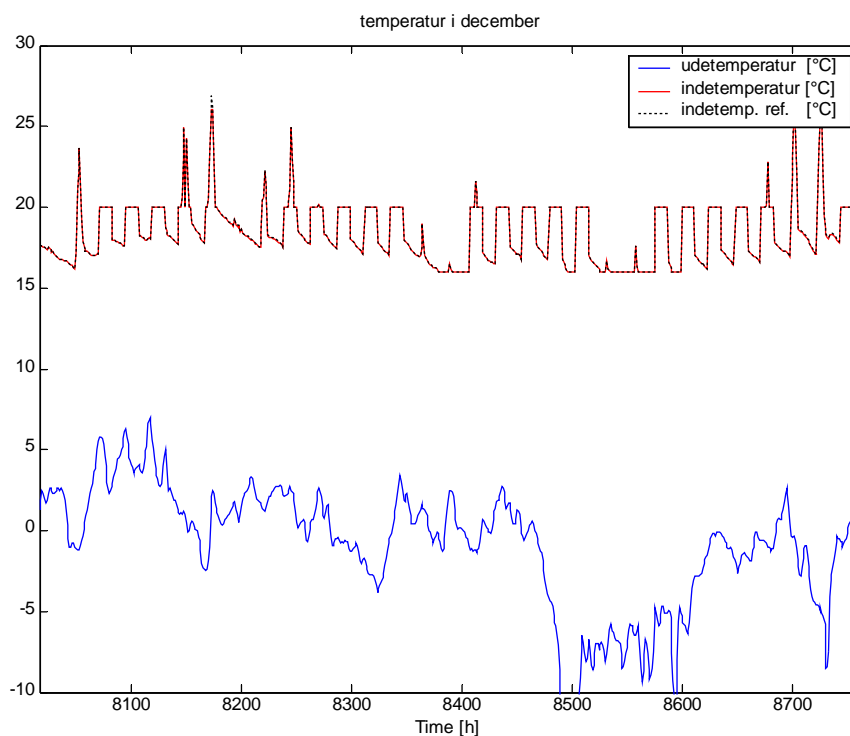
figur 20: Temperaturer i sydvendt lokale i juni måned

I forhold til simuleringen hvor der blev anvendt aktiv køling til at sænke temperaturen i lokalet, så er temperaturen steget voldsomt, og indetemperaturen vil være helt uacceptabel med hensyn til komforten.

Det ses ganske tydeligt hvilken betydning den variable U-værdi har når den aktive køling ikke er aktiveret. For reference modellen er temperaturerne ofte over 30°C, mens for modellen med variabel U-værdi er temperaturen sjældent over 30°C. Effekten af den variable U-værdi er så god at temperaturen er reduceret så meget i en stor del af tiden, at køleanlægget vil kunne være slukket. Dette kræver dog at det kan accepteres at temperaturen i korte

perioder er højere end kølesetpunktet (26°C). Køleanlægget kan dermed nøjes med at køre i de perioder hvor temperaturen vil være helt uacceptabel. Hvorvidt dette vil være acceptabelt i en virkelig situation vil bl.a. afhænge af brugernes indstilling. Ofte vil brugere lettere kunne acceptere temperaturer uden for komfort området hvis de har mulighed for selv at kunne aktivere kølingen når der opstår et behov. Det afhænger også af hvilket kølesystem der benyttes i bygningen. Hvis den enkelte bruger selv skal kunne bestemme så kræver det at de enkelte brugeres valg ikke modvirker hinanden. Derfor vil sådanne brugerstyrede løsninger fungere bedst i mindre kontorer.

Nedenfor ses temperaturerne for december måned. Hhv. Reference model og model med variabel U-værdi.



figur 21: Temperaturer i sydvendt lokale for december måned

Som tidligere da den aktive køling var aktiveret er der heller ikke her nogen nævneværdig forskel på referencemodellen og modellen med variabel U-værdi. Dette er ikke så mærkeligt da temperaturen sjældent kommer over 20°C , dvs. at der i det meste af tiden er et opvarmningsbehov.

Når det aktive kølesystem ikke er aktiveret vil temperaturen i perioder overstige 26°C, der som tidligere nævnt højst må overskrides 100 timer om året i følge DS 474.

Årligt antal timer over 26°C

Orientering	Reference	Variabel U-værdi	Forskel
Nord	602	510	92
Syd	1221	960	261
Øst	1018	805	213
Vest	989	795	194

Tabel 9: årligt antal timer over 26°C når der ikke anvendes aktiv køling

Det er tydeligt at antallet af timer over 26°C ikke overholder kravet om de 100 timer om året. Men det ses samtidigt at anvendelse af "variabel U-værdi" reducerer dette betydeligt, dog ikke så meget at kravet overholdes.

5.4.3 - Med solafskærmning og aktiv køling

Brug af solafskærmning er en almindelig og meget effektiv måde at reducere den tilførte effekt der stammer fra solindfald. For at solafskærmningen effektivt skal reducere den tilførte effekt så er det nødvendigt at placere solafskærmningen uden på facaden således at effekten reduceres før den trænger ind i lokalet. Placeres solafskærmningen på indersiden af ruden vil reduktionen af effekten være begrænset. Effekten af en indvendig solafskærmning afhænger i høj grad af farven på afskærmningen. En lys afskærmning vil delvist reflektere solindfald ud gennem ruden, mens en mørk afskærmning vil optage effekten og afgive den som varme til lokalet.

For begge løsninger gælder det at dagslysindfaldet også vil blive reduceret noget. Det vil dog ofte være ønskeligt at den direkte indstråling af sollys reduceres da denne ofte giver gener med refleksioner i computerskærme. Den valgte løsning skal dog heller ikke reducere dagslysindfaldet så meget at der opstår et øget behov for kunstig belysning. Der er en lang række muligheder for solafskærmning afhængig af om solafskærmningen skal være permanent, on/off, eller variabel.

- En permanent løsning kan enten bestå af en belægning på/ farvning af ruderne eller fastmonterede udhæng eller persiener.
- En on/off løsning vil bestå af et rullegardin der fåes med varierende grad af afskærmningsgrad. Med rullegardiner er det muligt at reducere solindfaldet 100% ved

anvendelse af mørklægningsgardiner.

- En variabel solafskærmning vil oftest være udført som en persienne hvor det er muligt at variere afskærmningsgraden. For de fleste persienneløsninger er det muligt helt at fjerne afskærmningen. Når persiennen er kørt ned er det muligt at variere afskærmningsgraden, samtidig med at der tillades dagslys i form af diffust lys. Reguleringen foregår ved at indstille hældningen på persiennen.

Solafskærmningen i BuildingCalc fungerer svarende til en persienne løsning med variabel afskærmningsfaktor. Solafskærmningen styres efter indetemperaturen og aktiveres ved temperaturen svarende til kølesetpunktet. Beregningsgangen i BuildingCalc gør at solafskærmningen aktiveres før andre systemer der medvirker til at reducere indetemperaturen. Der indgår ikke beregning af dagslysindfald i beregningerne i BuildingCalc. Det er således ikke muligt at få et billede af lysforholdene. Til at undersøge dagslysforhold er brug af BSim2002 langt mere egnet, dette er dog ikke en del af undersøgelserne i dette projekt.

Afskærmningsfaktoren¹⁵ for en udvendig placeret persienne afhænger ligesom en indvendig persienne af farven. En mørk persienne vil have en afskærmningsfaktor på 0,12 mens en lys persienne vil have en afskærmningsfaktor på 0,22 [17].

For denne simulering med solafskærmning er der valgt en afskærmningsfaktor på 0,50. Dette skyldes en antagelse om at afskærmningen i praksis ikke vil blive udnyttet fuldt ud da det vil reducere dagslysindfaldet for meget. Da det ikke er muligt at beregne dagsindfaldet i BuildingCalc kan det ikke kontrolleres om dagslyset reduceres så meget at kunstig belysning ville blive nødvendig.

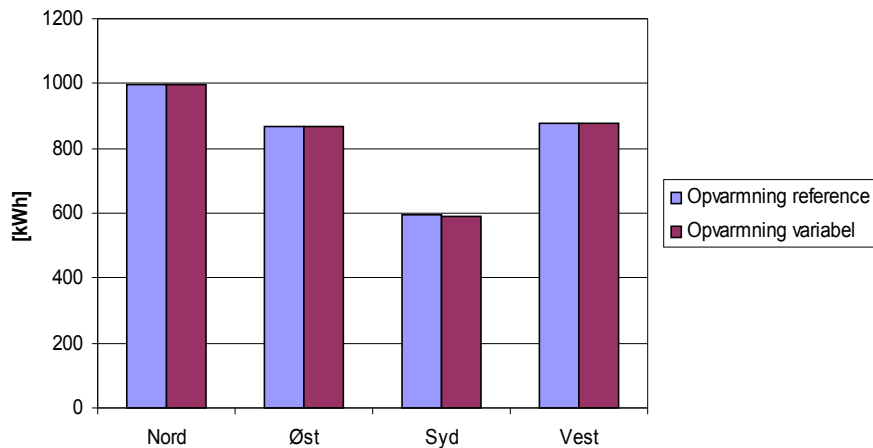
Resultater for opvarmningseffekt

Sammenligning af resultaterne for opvarmningseffekt, når der ikke anvendes solafskærmning og når solafskærmningen er sat til 50 %. Det forventes ikke at behovet for opvarmning vil blive påvirket af brug af solafskærmning.

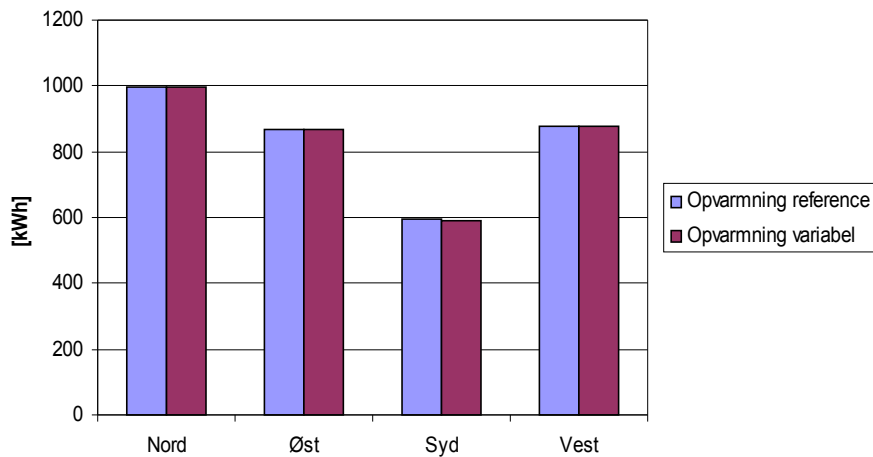
¹⁵ Afskærmningsfaktor for solvarme er den del af effekten der trænger gennem et vindue i forhold til uafskærmet med 2 lag glas. [17]

Intelligent byggeri – med og uden teknologi

Eksamensprojekt ved BYG•DTU - 2005



figur 22: Varmeeffekt for alle orienteringer med solafskærmning

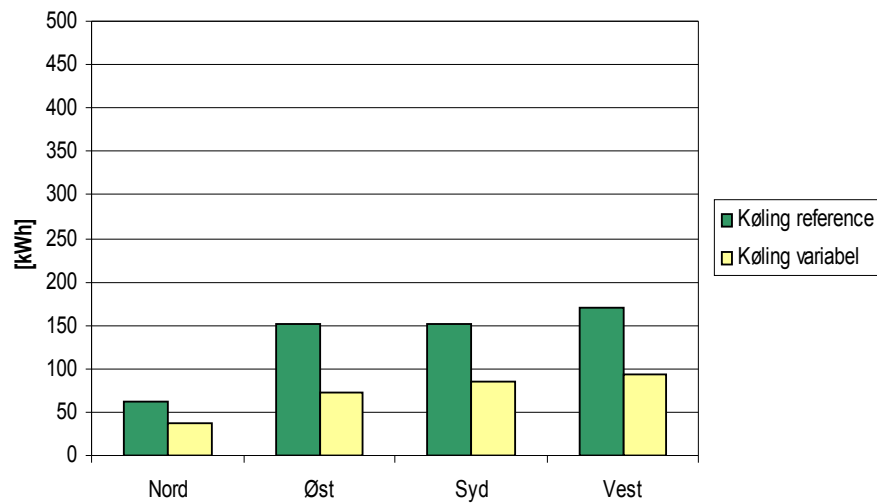


figur 23: Varmeeffekt for alle orienteringer uden solafskærmning

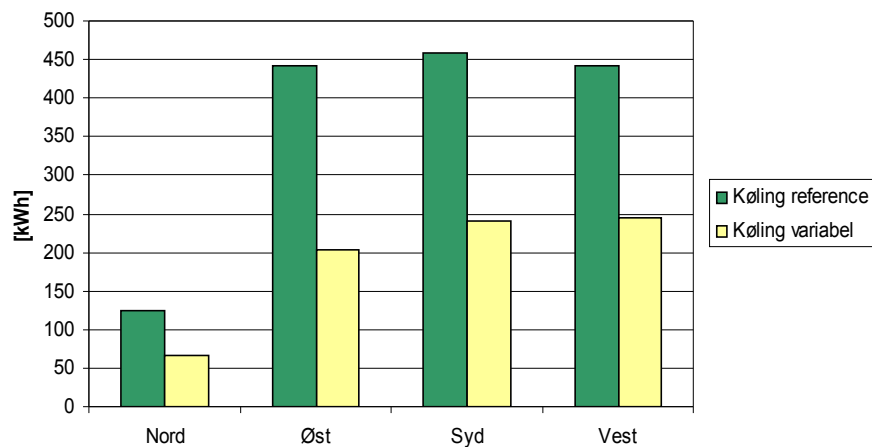
For alle orienteringer gælder at behovet for tilført varmeeffekt næsten er upåvirket af både anvendelse af solafskærmning og variabel U-værdi. Dette er dog helt forventeligt da solindfaldet i varmesæsonen er beskedent og at den variable U-værdi kun aktiveres når temperaturen indendørs er over opvarmningssetpunktet. Den variable U-værdis egenskab er at øge varmetabet når der er for varmt indendørs.

Resultater for køleeffekt

Sammenligning af resultaterne for køleeffekt, når der ikke anvendes solafskærmning og når solafskærmningen er sat til 50 %. Solindfaldet udgør en stor del af belastningen i lokalet og medfører behov for brug af aktiv køling. Da forventes det at kølebehovet bliver reduceret væsentligt ved brug af solafskærmning.



figur 24: Køleeffekt for alle orienteringer med solafskærmning



figur 25: Køleeffekt for alle orienteringer uden solafskærmning

Af ovenstående figurer fremgår det tydeligt at solafskærmningen påvirker behovet for aktiv køling ganske væsentligt. Samtidigt er det tydeligt at solindfaldet for det nordvendte lokale er væsentligt lavere end for de øvrige orienteringer af lokalet.

Opsummering af resultater for køleeffekt med og uden solafskærmning:

Resultater for det nordvendte lokale

Resultaterne for det nordvendte lokale viser at køleeffekten falder lidt i sommermånederne. Dette var forventet da der i det nordvendte lokale kun er et lille solindfald.

Uden solafskærmning

ref 125 kWh

var 66 kWh

ændring -59 kWh hvilket svarer til en besparelse på 47%

med solafskærmning

ref 63 kWh

var 37 kWh

ændring -26 kWh, hvilket svarer til en besparelse på 41%

Resultater for det østvendte lokale

Resultaterne for det østvendte lokale viser at køleeffekten falder meget i sommermånederne.

Uden solafskærmning

ref 442 kWh

var 204 kWh

ændring -238 kWh hvilket svarer til en besparelse på 54%

med solafskærmning

ref 152 kWh

var 73 kWh

ændring -79 kWh, hvilket svarer til en besparelse på 52%

Resultater for det sydvendte lokale

Resultaterne for det sydvendte lokale viser at køleeffekten falder meget i sommermånederne.

Uden solafskærmning

ref 458 kWh

var 240 kWh

ændring -218 kWh hvilket svarer til en besparelse på 48%

med solafskærmning

ref 152 kWh

var 73 kWh

ændring -67 kWh hvilket svarer til en besparelse på 44%.

Resultater for det vestvendte lokale

Resultaterne for det vestvendte lokale viser at køleeffekten falder meget i sommermånederne.

Dette stemmer godt overens med resultaterne for det østvendte lokale

Uden solafskærmning

ref 442 kWh

var 245 kWh

ændring -197 kWh hvilket svarer til en besparelse på 45%

med solafskærmning

ref 170 kWh

var 94 kWh

ændring -76 kWh hvilket svarer til en besparelse på 45%

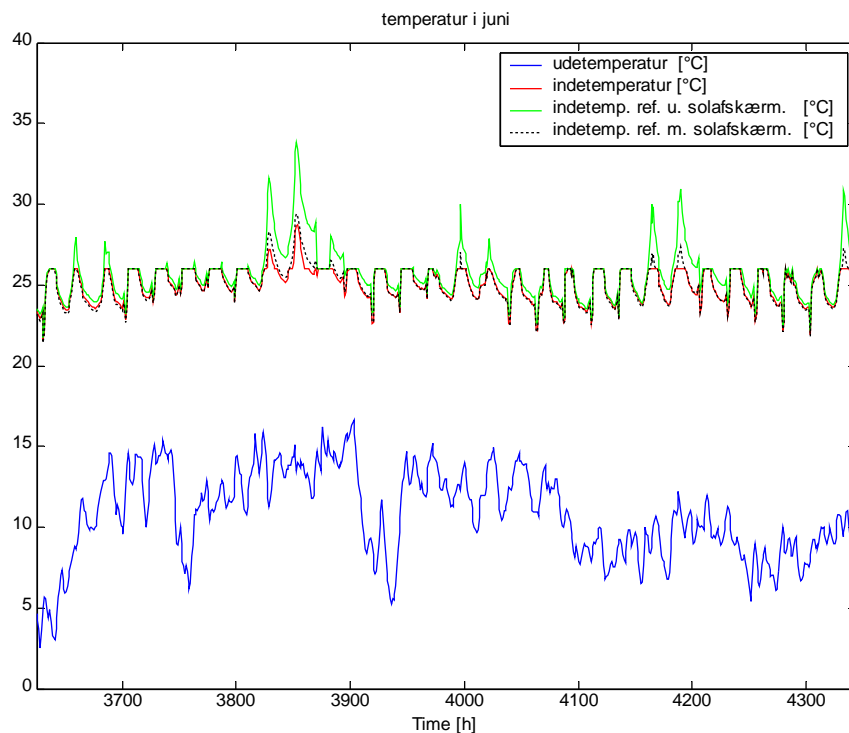
Af tallene fremgår det at besparelsen målt i effekt falder når der anvendes solafskærmning. Dette var dog forventeligt da solafskærmningen i sig selv medfører en

stor besparelse. Men for alle orienteringer af kontorlokalet er den procentmæssige besparelse næsten konstant.

Grafer der viser varme- og køleeffekt på månedsbasis for alle orienteringer af kontorlokalet er vist på bilag /4/.

Temperaturer når der anvendes solafskærmning

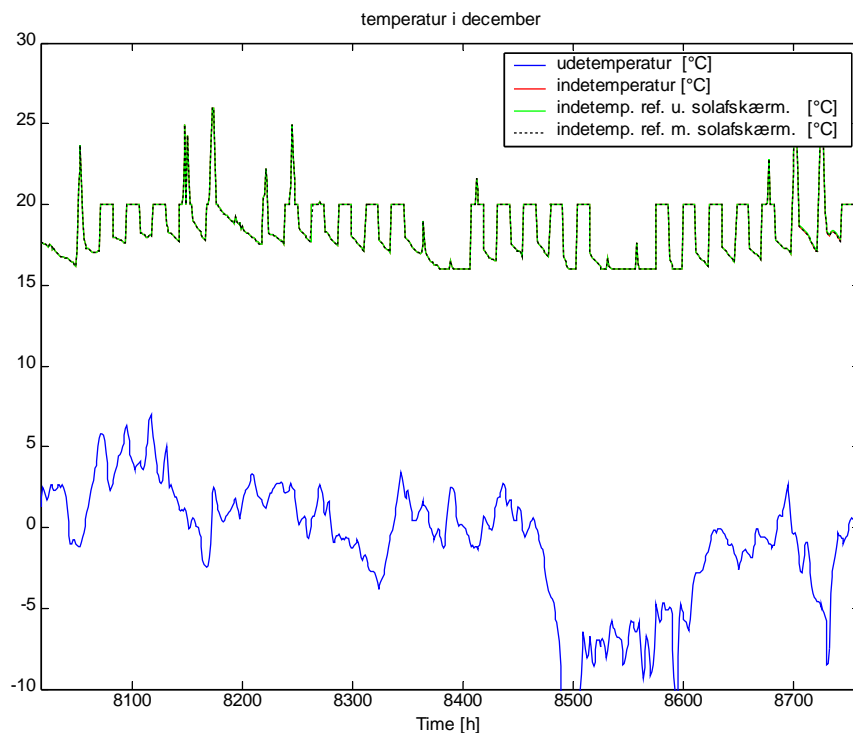
Nedenfor ses temperaturerne for juni måned. Hhv. reference model med solafskærmning og model med variabel U-værdi og solafskærmning.



figur 26: Temperaturer i sydvendt lokale i juni måned

Det ses her tydeligt hvilken betydning solafskærmningen har, når solafskærmningen er aktiveret falder temperaturen drastisk og kommer således ikke over 30°C. Den variable U-værdis betydning bliver derfor noget mindre, men sænker dog temperaturen så den meget sjældent kommer over 26°C.

Nedenfor ses temperaturerne for december måned. Hhv. Reference model og model med variabel U-værdi.



figur 27: Temperaturer i sydvendt lokale i december måned

Som tidligere er der heller ikke her nogen nævneværdig forskel på reference modellen og modellen med variabel U-værdi. Dette skyldes at temperaturen i december måned er så lav at hverken den aktive køling eller den variable U-værdi bliver aktiveret når temperaturen er under 26°C.

6 - Intelligent styring af opvarmning og køling

Siden reguleringen af indeklimaet i bygninger blev indført, har både energiformen og styringen været gennem en løbende udvikling. Dog har de fleste systemer krævet at driftspersonalet (beboerne hvis der er tale om en bolig) gennem deres kendskab til bygningen får justeret systemerne hvis de skal fungere optimalt, både med hensyn til energiforbrug og komfort.

Dette problem er naturligvis ikke nyt, men løsningen kræver at systemet har indbygget en intelligent styring der selv er istand til at justere ydelsen efter behovet. Styring efter indetemperaturen er selvfølgelig ganske almindelig. Også styring der tilpasser systemet den aktuelle udetemperatur er udbredt, ligesom tidsstyring der justerer efter et forudbestemt tidsskema, hvor f.eks. temperaturen sænkes om natten og i weekender. Alle disse systemer indeholder en hvis grad af intelligens der gør at der ikke bruges unødigt meget energi. Men for at styringen virkelig kan betegnes som intelligent, bør systemet være selvregulerende i langt højere grad, og f.eks. være mere forudseende så energien udnyttes optimalt.

Styringen kan tænkes at være forudseende på flere måder, f.eks. ved at tidsskemaet justeres løbende på baggrund af brugernes kalender, så systemet ved hvornår der er personer tilstede. Systemet kan også på baggrund af det kommende døgns vejrudsigt, og alt afhængig af hvor varmt det bliver den kommende dag, være forudseende og derved starte opvarmningen tidligere, eller sænke temperaturen yderligere om natten.

Ud over dette kan systemet styre opvarmningen mm. ved selv at lære bygningen at kende, ligesom driftspersonalet kender den enkelte bygnings virkemåde og særheder.

6.1 - Styring efter det kommende døgns vejr

For at kunne udnytte natkøling bedst muligt kan det være en fordel at vide hvordan vejret bliver i det kommende døgn. Hvis det f.eks. vides om det vil være skyet eller klart vejr, vil det have stor betydning for varmetilskuddet som følge af solindfald. Derfor kan det være en fordel hvis natkølingen kun aktiveres når der vil komme et stort solindfald.

Kendskab til det kommende døgns vejr kan selvfølgelig tænkes at kunne benyttes til andre ting, f.eks. hvis der benyttes natsænkning på varmeanlægget kan det tænkes at det vil være

en fordel i at hæve temperaturen tidligere hvis der er udsigt til at morgenen bliver kold, således at lufttemperaturen er passende når personalet møder på arbejde. Det er således ikke kun et spørgsmål om at benytte mindst mulig energi, men i særdeleshed om at skabe et behageligt indeklima. Hvis der kan skabes et bedre indeklima ved at benytte den samme mængde energi, kan dette i mange tilfælde være at foretrække frem for at spare på energien.

Nøjagtighed af vejrudsigt 24 timer frem:

- Temperaturen (± 2 °C) 85-92%,
afhængig af årstiden og positionen.
- Solindstråling (± 200 W/m²) 70-88%,
denne parameter afhænger også af årstiden og positionen. Dette er den sværeste parameter at forudsige, da den relaterer direkte til skydækket.

Ses strålingen summeret over dagen, er forudsigeligheden bedre.

Tabel 10: Kilde: Jesper Thiesen, Chef meteorolog, Vejr2 A/S Vejr2 A/S kan levere prognosedata med tidsintervaller på 1 time og en horisontal opløsning på 2x2 km, 120 timer frem i tiden. Disse prognoser opdateres hver time.

Herover ses med hvilken nøjagtighed Vejr2 A/S kan levere oplysninger om det kommende døgns vejr. I simuleringerne i denne rapport anvendes et vejrdatasæt således at nøjagtigheden af "vejrudsigten" er 100%. Dette vil naturligvis ikke være tilfældet i virkeligheden, men det vil ligeledes være vanskeligt at skulle ændre "vejrudsigten" til at være mere unøjagtig, og samtidig vurdere om effekten eller mangel på samme, ved brug af vejrudsigtsstyring, stammer fra unøjagtigheder det ene eller andet sted.

En eventuel virkning af vejrudsigtsstyring, vil i en virkelig situation befinde sig mellem resultatet uden kendskab til det kommende døgns vejr, og resultatet hvor det kommende døgns vejr kendes 100% nøjagtigt.

I BuildingCalc opbygges en model hvor det er muligt at styre kølingen om natten afhængig af hvordan vejret vil være det kommende døgn.

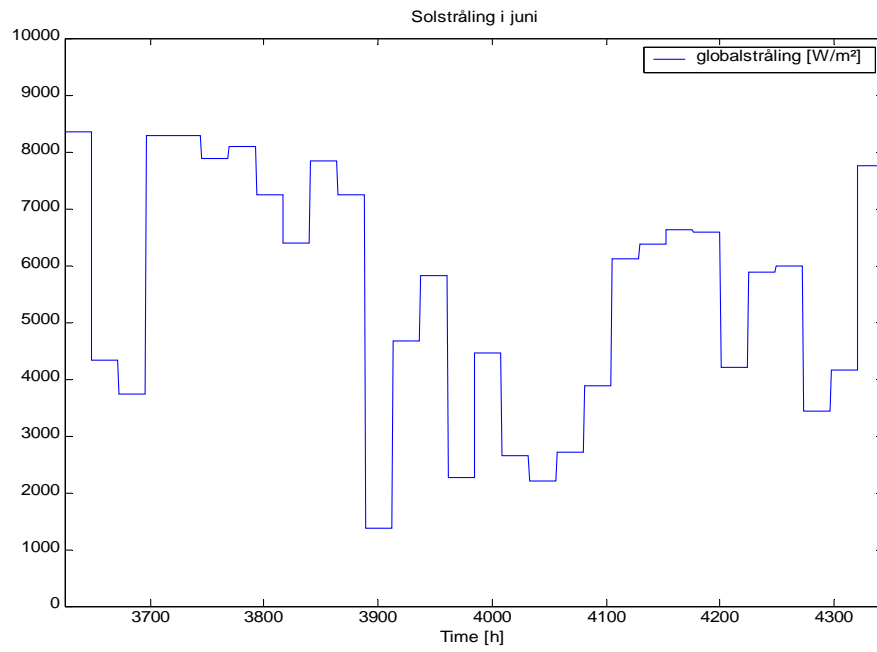
6.1.1 - Solindfald

Vejrudsigtstyringen bliver styret efter solindfaldet, da det solindfaldet der giver et stort varmetilskud til indeklimaet.

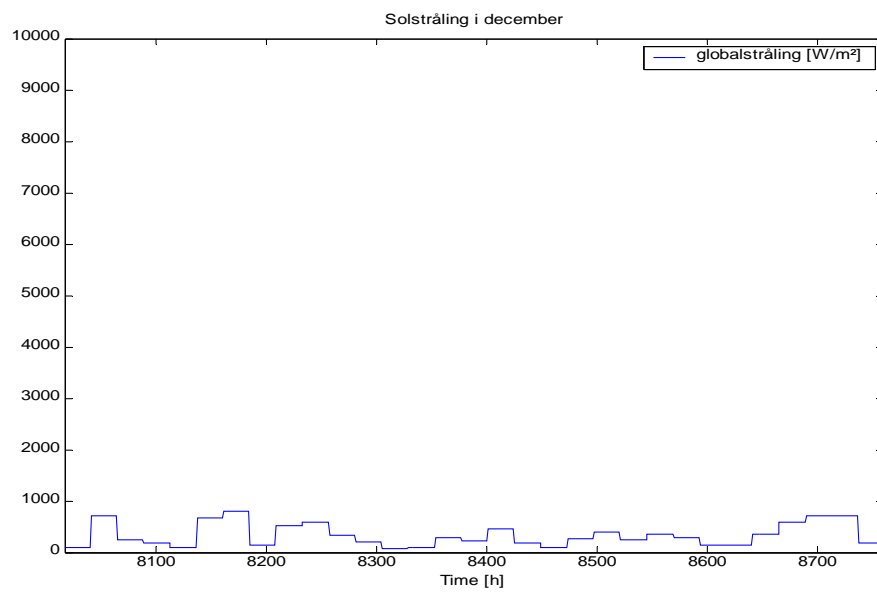
Solindfaldet der styres efter er den globale solindstråling [W] på en vandret flade [m²].

Da solindfaldet over en 24 timers periode varierer meget, benyttes der et 24 timers gennemsnit til at styre efter (figur 28).

Den samlede solstråling pr døgn i Danmark varierer meget over året.



figur 28: Globalstråling sommeret over 24 timer i juni



figur 29: Globalstråling sommeret over 24 timer i december

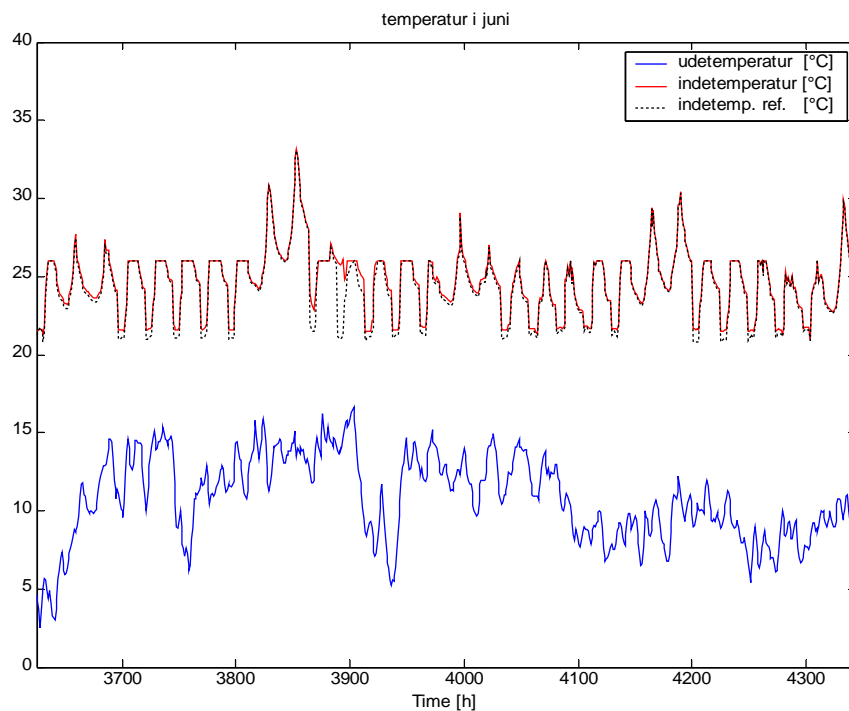
Styringen skal fungere således at kølingen aktiveres når varmetilskuddet fra solindfaldet vil give en forhøjet indetemperatur.

6.2 - Vejrudsigtstyret natkøling ved naturlig ventilation

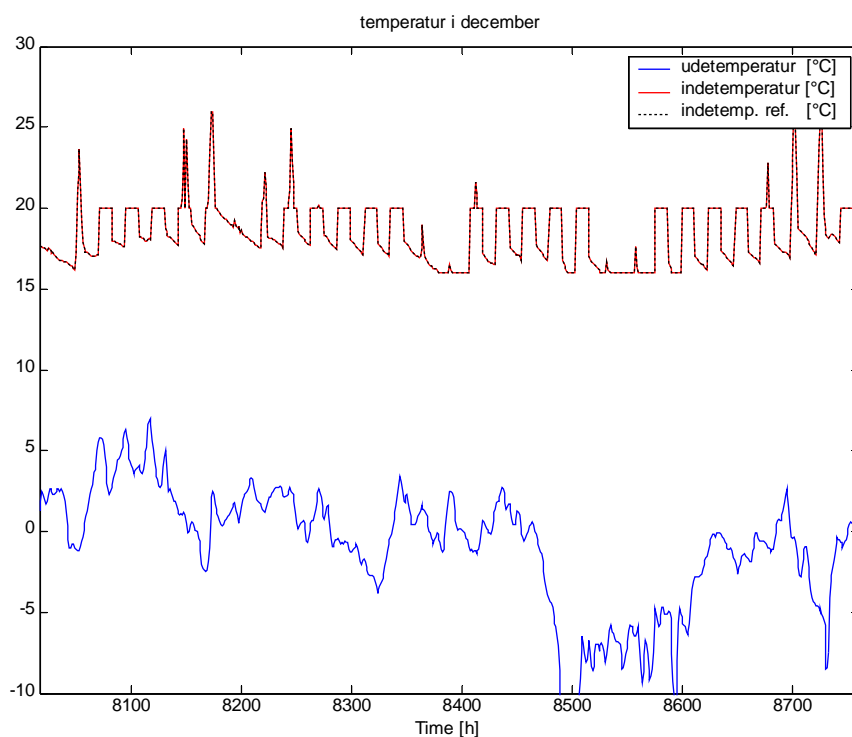
Det skal undersøges hvilken effekt det har at anvende naturlig ventilation (venting).

I referencemodellen tilføjes en styring der udfører naturlig ventilation. Dette gøres ved at tilføje et nyt system 3 (tidligere indstillinger fra system 3 oprettes i et nyt system 4) under "systems" i BuildingCalc. Setpunktet sættes til 22°C og "venting" aktiveres med et maksimalt luftskifte på 5 1/h. Systemet sættes til at være aktivt alle uger, mandag-fredag fra kl. 24-7 svarende til time nr. [1:6].

I de øvrige systemer er "venting" ikke aktiveret så der skulle ikke opstå konflikter.

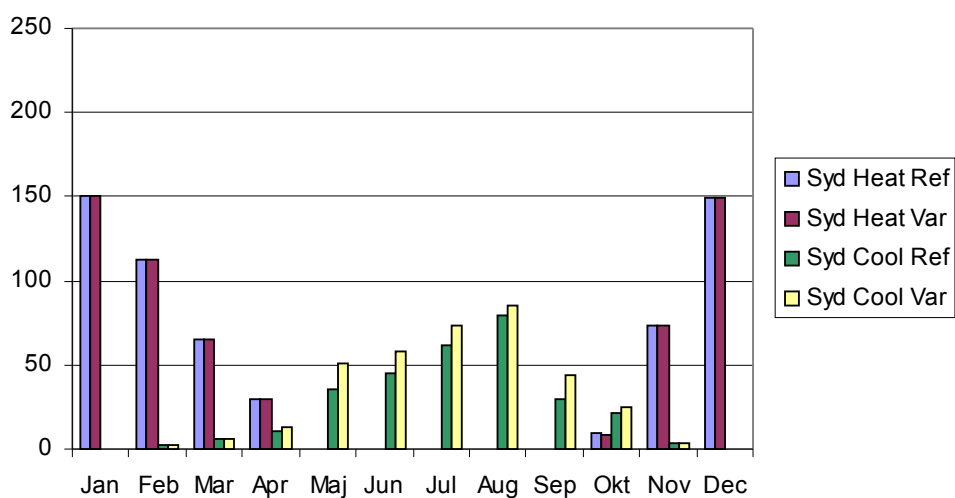


figur 30: Reference model - Temperaturer for juni måned, sydvendt lokale



figur 31: Reference model - Temperaturer for december måned, sydvendt lokale

Venting er i "twonodes2.m" sat til at blive aktiveret om natten hvis den globale solindstråling er på over 5000 Wh/m² de følgende 24 timer, samt hvis middeltemperaturen udenfor er på over 15°C.



figur 32: resultater varme- og køleeffekt for sydvendt lokale

Som det ses er resultaterne ikke for gode ved brug af vejrudsigt til styring af natkøling ved naturlig ventilation. Dette giver kun en besparelse på 1 kWh for opvarmningen, men desværre også et større kølebehov.

Dette skyldes bl.a. at natkøling med naturlig ventilation er "gratis" og det derfor vil være en fordel at ventilere mest muligt, så længe temperaturen ikke falder til under opvarmningssetpunktet.

Det vil ifølge Kummert [24] ikke føre til en reduktion i kølebehovet at benytte mekanisk køling styret efter vejrudsigten. Besparelsen er rent økonomisk ifølge Kummert [24]. Hvis det er muligt at få energien billigere om natten, kan det betale sig at køle bygningen om natten.

6.3 - Vejrudsigtstyret natsænkning

I denne model forsøges det at styre setpunktet for opvarmningen om natten (natsænkning). Dette gøres ved at temperaturen for setpunktet om natten hæves med 2°C når det samlede solindfald de følgende 24 timer overstiger 500 Wh/m² og middel udetemperaturen er under 5°C .

Desuden indføres en maksimaleffekt for opvarmning og køling således at det kan undersøges om en natsænkning vil medføre at systemet ikke kan nå at opvarme bygningen før brugerne af bygningen ankommer. Dette gøres for at sikre at en sænkning af energiforbruget ikke går udover komforten.

Dimensionerende varmetab:

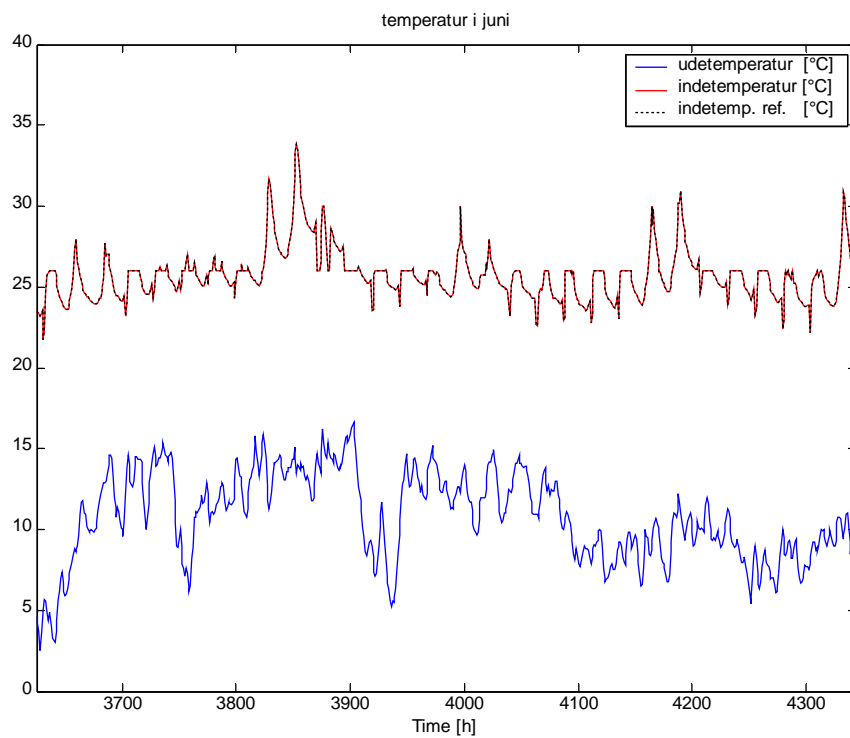
$$\text{Transmissionstab } \Phi_t = UA(\theta_i - \theta_e) = 9,8574 \text{ W/K} * 32^\circ\text{C} = 315 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} \text{Infiltrationstab } \Phi_v &= 0,34 \text{ n V } (\theta_i - \theta_e) \\ &= 0,34 * 0,22 \text{ h}^{-1} * 51,03 \text{ m}^3 * 32^\circ\text{C} \\ &= 122 \text{ W} \end{aligned}$$

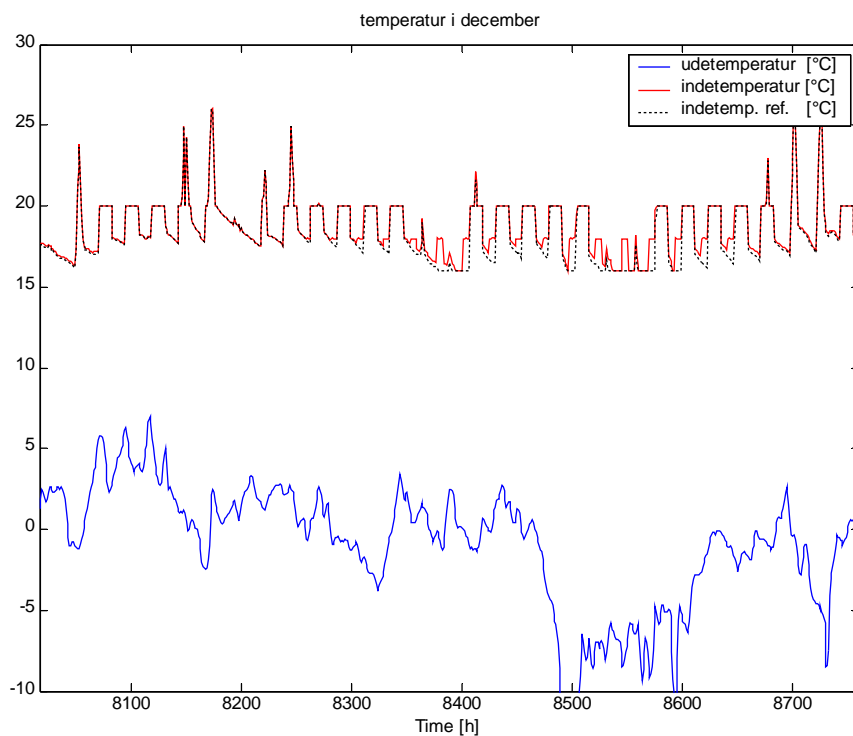
$$\begin{aligned} \text{Ventilationstab } \Phi_v &= 0,34 \text{ n V } (\theta_i - \theta_e) \\ &= 0,34 * 1,4674 \text{ h}^{-1} * 51,03 \text{ m}^3 * 32^\circ\text{C} \\ &= 815 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\text{Samlet varmetab } \Phi = 1252 \text{ W}$$

På baggrund af det dimensionerede varmetab sættes maksimaleffekten fra opvarmningen til 1252 W



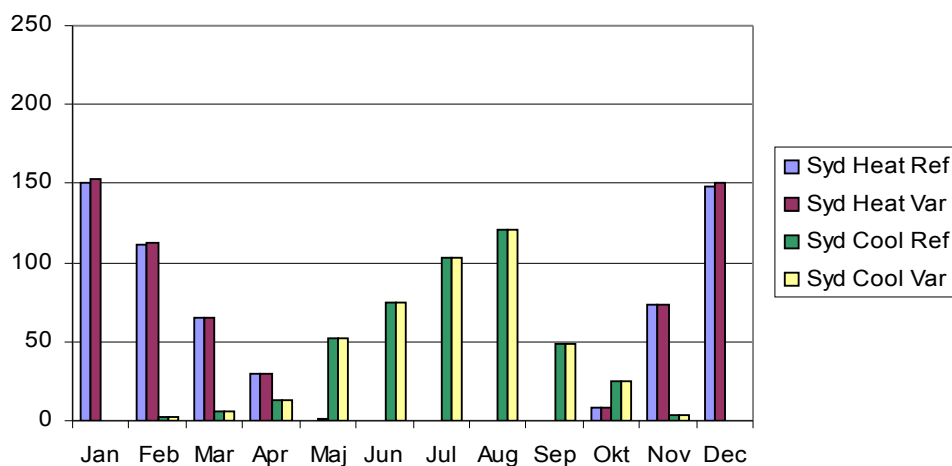
figur 33: temperaturer ved anvendelse af natsenkning for sydvendt lokale i juni



figur 34: temperaturer ved anvendelse af natsenkning for sydvendt lokale i december

Som det ses af resultaterne har indførelsen af en maksimaleffekt medført at der til tider

bliver for koldt og temperaturen ikke kan holdes på 20°C i morgentimerne. Resultaterne viser at der ved at hæve setpunktet om natten opnås en beskednen bedre komfort,



figur 35: Rapportresultater for vejrudsigtmodel

Dog er opvarmningsbehovet steget med ca. 1,2 % til 592 kWh.

Dette kan ikke siges at være positivt, set fra et energimæssigt synspunkt.

6.4 - Vurdering af resultater

I forbindelse med samtaler med Villy Falk (Cowi) og Ejvind Løgberg (Birch & Krogboe) blev brugen af vejrudsigtstyring af opvarmning og køling diskuteret og det fremgik at denne form for styring ikke har den store effekt på effektbehovet. Derfor er det ikke så mærkeligt at resultaterne i dette projekt ikke giver et positivt resultat, specielt når den anvendte simulerede styring er forholdsvis simpel. Dog viser resultater fra et projekt udført af Kummert [24] at der kan opnås besparelser på effekt brugt til opvarmning. I det nævnte projekt er dog anvendt en mere avanceret styring hvor der gøres brug af "kunstig intelligens".

I praksis vil den tilgængelige effekt til opvarmning være større end det dimensionerende effektbehov. Derfor vil der altid være et effekt overskud med mindre udetemperaturen bliver meget lav.

7 - Diskussion

Formålet med dette projekt omhandlende "Intelligent byggeri" har været at vise at det er muligt at begrænse brugen af systemer der kræver et konstant energiforbrug, i dette projekt omtalt som værende "med teknologi". Systemer eller konstruktioner der kun kræver et minimalt energiforbrug til lejlighedsvis styring eller regulering, er i omtalt som værende "uden teknologi".

Denne opdeling i "med teknologi" og "uden teknologi" er lidt skarp og ikke helt dækkende da begrebet teknologi omfatter flere forhold end blot teknologi der anvendes til styring og regulering af bygningskomponenter. Udviklingen inden for vinduer i form af lavenergiruder er placeret under begrebet "med teknologi" da der anvendes viden til at videreudvikle et eksisterende produkt.

7.1 - Uden teknologi – variabel U-værdi

Ved systemer "uden teknologi" skal besparelsen i energiforbruget finde sted ved at energiforbruget til de aktive systemer, så som opvarmning og afkøling reduceres ved i højere grad at udnytte "intelligente løsninger" i bygningens konstruktion. I dette projekt er dette opnået ved at simulere en facade med "variabel U-værdi" således at overskudsvarme i perioder med et kølebehov kan ledes ud gennem facaden og dermed reducere behovet for aktiv køling.

Der er i dette projekt undersøgt 3 forskellige tilfælde med anvendelse af "variabel U-værdi"

1. Ingen ændringer i forhold til referencemodellen andet end tilføjelse af variabel U-værdi for facaden.

- For opvarmningsbehovet er besparelsen i gennemsnit 0,2 %
- For kølebehovet er besparelsen i gennemsnit 48,3 %

2. Aktiv køling er ikke aktiveret, derfor er der ingen besparelse i form af lavere effektforbrug til køling, men indetemperaturen bliver reduceret væsentligt således at der er et acceptabelt indeklima i en stor del af tiden når der anvendes "variabel U-værdi". Uden anvendelse af variabel "U-værdi" er indetemperaturen uacceptabelt høj i perioder med stort varmetilskud.

3. Aktiv køling er aktiveret og der er tilføjet solafskærmning til at reducere varmetilskuddet fra solindfald. Generelt giver tilføjelsen af solafskærmningen en stor reduktion i behovet for aktiv køling.

- For opvarmningsbehovet er besparelsen i gennemsnit 0,1 %
- For kølebehovet er besparelsen i gennemsnit 45,5 %

Brugen af facader med "variabel U-værdi" giver altså en besparelse på over 45 %, ligegyldigt om der anvendes solafskærmning eller ikke. Selv hvis der ikke anvendes aktiv køling så har brugen af den "variable U-værdi" en god evne til at reducere overophedningen i lokalet. En kombination af solafskærmning og brug af "variabel U-værdi" vil angiveligt helt kunne fjerne behovet for aktiv køling.

I fremtiden vil der komme flere løsninger hvor anvendelsen af energiforbrugende bygningskomponenter er reduceret væsentligt. Sådanne løsninger er allerede under udvikling og mange løsninger er i brug i dag, f.eks. 0-energihuse eller passivhuse hvor hele behovet for opvarmning dækkes af solenergi og intern belastning fra personer og maskiner.

7.2 - Med Teknologi - Vejrudsigtsstyring

Ved systemer "med teknologi" skal besparelsen i energiforbruget finde sted ved at de energiforbrugende systemer styres eller reguleres på en sådan måde at energiidnyttelsen bliver mest optimal. I dette projekt er det forsøgt at udnytte kendskabet til det kommende døgns vejr til styring og regulering af natkøling, ved naturlig ventilation og natsænkning på varme anlægget.

Både løsningen med natkøling ved naturlig ventilation og løsningen har ikke givet de ønskede besparelser i energiforbruget. Besparelserne har været meget små for enten opvarmnings- eller køleeffekten, samtidig med at det har resulteret i et øget effektforbrug i for den øvrige del af året. Samlet set har dette ført til et totalt effektforbrug til både opvarmning og køling der er større end forbruget i referencemodellen.

At løsningen med vejrudsigtsstyring giver så dårlige resultater skyldes flere faktorer. For simuleringen med naturlig ventilation vil det fra et kølemæssigt synspunkt altid være en fordel at ventilere mest muligt med naturlig ventilation, så længe temperaturen ikke kommer under opvarmningssetpunktet. For simuleringen med ændret natsænkning er mulighederne potentielt større. Dog ville det være en bedre løsning at ændre tidspunktet hvor natsænkningen skulle afsluttes, fremfor at ændre på temperaturen. Når dette gøres,

som i dette projekt, vil det uundgåeligt give et øget effektforbrug. Selvom der blev indført en effektbegrænsning så var det forøgede effektforbrug til opvarmning for stor i forhold til øget komfort.

7.3 - Fremtidige projekter om "intelligent byggeri"

Det er i sagens natur umuligt at komme omkring alle aspekter i et enkelt projekt, når emnet "intelligent byggeri" omfatter stort set alle dele af et byggeri. I dette projekt er der kun set på få mulige løsninger indenfor regulering af det termiske indeklima, med større og mindre succes med hensyn til reduktion af effektforbruget.

Brugen af klimaskærme med "variabel U-værdi" er endnu ikke udviklet til brug i bygninger, i en form hvor det er simpelt at anvende. Derfor bør mulighederne for hvilke materialer der har egenskaber som kan tænkes benyttet til dette formål undersøges nærmere. Ligesom der indenfor tekstilindustrien udvikles en lang række "intelligente" tekstiler der indeholder funktioner der ikke findes i almindeligt stof, f.eks. GoreTex¹⁶ der gør at tøjet kan ånde ved at vand på dampform kan passere men ikke vand på dråbeform. Outlast-Thermocules¹⁷ er et andet materiale der har den funktion at varme kan lagres i stoffet for senere at blive afgivet til kroppen. Dette materiale benyttes bl.a. i skitøj og dyner og skulle sikre en bedre komfort. Outlast-Thermocules er oprindeligt udviklet af NASA til brug i astronauters rumdragter. Hvis der skal vælges et materiale til indbygning i en klimaskærm må der dog som minimum stilles det krav, at holdbarheden mindst svarer til de øvrige materialer der anvendes. Derudover bør der kun kræves minimal vedligeholdelse, samt at effekten er vedvarende god i hele klimaskærmens levetid.

Hvis der opbygges klimaskærme med "variabel U-værdi" bør der laves nærmere undersøgelser af lokale temperaturforhold, hvor lave overfladetemperaturer kan medføre risiko for kondens og mulig vækst af skimmelsvamp. En mulig "sidegevinst" af den forøgede varmestrøm gennem facaden og deraf højere udvendig overfladetemperatur, kunne tænkes at reducere det problem der kan opstå med algevækst op overfladen udvendigt. Dette problem skyldes at godt isolerede konstruktioner, medfører at den udvendige overflade ikke tører så hurtigt og dermed giver gode betingelser for algevækst. Problemet skyldes dog også en række andre faktorer der ikke stammer fra facade opbygningen.

¹⁶ GoreTex: www.gore.com

¹⁷ : Outlast-Thermocules: www.outlast.com. Sælges i Danmark under navnet TempraKON hvor produktet er anvendt i dyner og puder, www.qod.dk/temprakondk.htm

Selvom resultaterne ved brug af vejrudsigten for det kommende døgn ikke har givet et positivt resultat, så viser resultaterne fra Kummert [24] at der kan opnås energimæssige besparelser på opvarmningen, ved at benytte kendskabet til det kommende døgns vejr. Men for at løsningen skal fungere optimalt så kræver det at løsningen er mere "intelligent" end den der benyttes i dette projekt. Dette kræver dog en større indsigt i teknologien bag "kunstig intelligens", hvor en lang række parametre indgår i udregningen af den "optimale løsning".

Hvis der anvendes aktiv køling ser det dog ud til at besparelserne er af økonomisk karakter. Da effekten til køling ikke reduceres findes besparelsen i at kølingen foregår om natten og der derved kan være mulighed for lavere elpriser.

Når der anvendes løsninger "med teknologi" så giver det en lang række muligheder for besparelser på en række andre energikrævende funktioner i en bygning. Ved at regulere den kunstige belysning efter solindfald og tilstedeværelse af personer i bygningen, kan der udover besparelse på el til belysning også være et reduceret behov for aktiv køling, da belastningen fra belysning reduceres.

En løsning til yderligere besparelser kunne være at den "intelligente bygning" i højere grad bruger kendskab til bygningens brug og belastning, f.eks. ved at systemet har indbygget en kalender funktion der løbende opdateres med de enkelte brugeres egne kalenderoplysninger, over hvornår de er tilstede i bygningen. Derudover kan det være en fordel hvis systemet "ved" hvordan bygningen reagerer. Hvis systemet således oplever at der altid opnås den ønskede komfort temperatur før beregnet, så skal systemet selv regulere sig ind efter dette.

8 - Konklusion

I dette projekt er der undersøgt løsninger med varierende brug af teknologi. Dette er omtalt som "uden" og "med teknologi".

I dette projekt er løsninger "uden teknologi" undersøgt ved at simulere en facade med "variabel U-værdi", således at overskudsvarme i perioder med et kølebehov kan ledes ud gennem facaden og dermed reducere behovet for køling.

Der er i dette projekt undersøgt 3 forskellige tilfælde med anvendelse af "variabel U-værdi"

4. Ingen ændringer i forhold til referencemodellen andet end tilføjelse af variabel U-værdi for facaden. Dette betyder at den aktive køling er aktiveret

- For opvarmningsbehovet er besparelsen i gennemsnit 0,2 %
- For kølebehovet er besparelsen i gennemsnit 48,3 %

5. Aktiv køling er ikke aktiveret, derfor er der ingen besparelse i form af lavere effektforbrug til køling men indetemperaturen bliver reduceret væsentligt således at der er et acceptabelt indeklima i en stor del af tiden når der anvendes "variabel U-værdi". Uden anvendelse af variabel "U-værdi" er indetemperaturen uacceptabelt høj i perioder med stort varmetilskud.

6. Aktiv køling er aktiv og der er tilføjet solafskærmning til at reducere varmetilskuddet fra solindfald. Generelt giver tilføjelsen af solafskærmningen en stor reduktion i behovet for aktiv køling.

- For opvarmningsbehovet er besparelsen i gennemsnit 0,1 %
- For kølebehovet er besparelsen i gennemsnit 45,5 %

I dette projekt er løsninger "med teknologi" undersøgt ved at forsøge at udnytte kendskabet til det kommende døgns vejr til styring og regulering af natkøling ved naturlig ventilation og natsænkning på varmeanlægget.

Både løsningen med natkøling ved naturlig ventilation og løsningen har ikke givet de ønskede besparelser i energiforbruget, besparelserne har været meget små for enten opvarmnings- eller køleeffekten, samtidig med at det har resulteret i et øget effektforbrug i for den øvrige del af året, samlet set har dette ført til et totalt effektforbrug til både opvarmning og køling der er større end forbruget i referencemodellen.

9 - Litteraturliste

- 1: Akademisk Arkitektforening et. al., Byggesektorens udspil til: Energieffektivisering af bygningsbestanden, 2004, .
- 2: Ejner Jerkvig, Udkast til nye energibestemmelser i bygningsreglementerne, 2004, Erhvervs- og boligstyrelsen.
- 3: Derek Clements-Crome, Intelligent buildings - design, management and operation, 2004, Thomas Telford.
- 4: Boligministeriet, Bygningsreglement 1995 + tillæg 1-10, 1995, Bygge- og boligstyrelsen.
- 5: Erhvervs- og boligstyrelsen, Udkast til tillæg BR95, rev. 11. januar 2005, , Erhvervs- og boligstyrelsen.
- 6: Mogens Hansen et. al., Psykologisk pædagogisk ordbog 9. udgave, 1993, Gyldendal.
- 7: Lars D. Christoffersen, Zephyr - Passive Climate Controlled Repositoris, 1995, Birch & Krogboe.
- 8: kort nyt, Ny intelligent vinduesbelægning, 2005, Ingeniøren nr. 5 - 2005.
- 9: Siemens Building Technologies, Kommunikationsstandarder for bygninger, , Siemens.
- 10: T. Derek J. Clements-Croome, What do we mean by intelligent buildings ?, 1997, Automation in Construction 6.
- 11: BSim, BSim brugervejledning, version 4.4.3.16, 2004, By og Byg.
- 12: BSim, www.bsim.dk, 2004
- 13: Toke Rammer Nielsen, BuildingCalc - Users guide, 2003, BYG.DTU.
- 14: Toke Rammer Nielsen, Simple tool to evaluate energy demand and indoor environment in the early st, 2004, Elsevier Ltd..
- 15: Dick van Dijk, Reference office for thermal, solar and lighting calculations, 2001, IEA SHC Task 27-A.
- 16: Dick van Dijk, Draft Addendum to: Reference office for thermal, solar and lighting calcula, 2002, IEA SHC Task 27-A.
- 17: Ole Valbjørn et. al., SBI-Anvisning 196 - Indeklimahåndbogen, 2000, Statens byggeforskningsinstitut.
- 18: H.E.Hansen et. al., Danvak - Varme- og klimateknik - grundbog 2. udgave, 1997, Danvak.

19: Per Stabell Monby et. al., Højsolering medfører køling, 2001, Danvak Magasinet 05-2001.

20: Jørn Trelidal, Dobbeltfacaders energiforhold, 2001, Danvak 10-2001.

21: Jens Eg Rahbek, Solvægge, 1998, IBE DTU.

22: Dansk Standard, DS418 - Beregning af bygningers varmetab 6. udgave, 2002, Dansk Standard.

23: By og Byg, By og Byg anvisning 202 - Naturlig ventilation i erhversbygninger 1. udgave, 2002, By og Byg.

24: Michaël Kummert, Contribution to the application of modern control techniques to solar bui., 2001, Fondation Universitaire Luxembourgeoise.

10 - Sekundær litteratur

Opstillet i alfabetisk rækkefølge efter titel

1. 6 Lavenergihuse i Hjortekær
LfV DTH maj 1979, Mogens Raun Byberg et.al.
2. Analyse af varmeakkumuleringsevne for boliger
LfV DTH februar 1992, Kirsten Engelund Thomsen et.al.
3. Do conservion houses require sophisticated technical installations ?
LfV DTH november 1982, Mogens Raun Byberg et.al.
4. Energi- og komfortmålinger i Rockwool International A/S lavenergikontorhus
LfV DTH marts 1983, Kirsten Engelund Thomsen et.al.
5. Introduktion til Matlab
IABM DTU juli 1997, Poul Kristensen
6. ISO-7730:1994(E) – Moderate thermal enviroments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort
International Organization for Standardization 1994.
7. Lavenergihus 2010 – forprojekt
Teknologisk institut maj 2001, Poul Erik Kristensen et.al.
8. Reference office for thermal, solar and lighting calculaions
[version: draft 01, May 24, 2001]
IEA SHC Task 27-A, Dick van Dijk
9. SBI-Anvisning 093 – Indetemperatur og energiforbrug i bygninger beregnet med referenceårets vejrdata
SBI 1974, Bo Andersen.
10. SBI-Anvisning 175 – Varmeanlæg med vand som medium
SBI 2000, Kaj Ovesen
11. SBI-Anvisning 178 – Bygningers fugtisolering
SBI 1993, Niels Erik Andersen et.al.
12. SBI-Anvisning 184 – Bygningers Energibehov
Statens byggeforskningsinstitut 1995, Søren Aggerholm et. al.
13. SBI-Rapport 89 – Vejrdata for VVS-tekniske beregninger Referenceår
SBI 1974, Mogens Raun Byberg et.al.
14. SBI-Særtryk nr. 42 – Døgnmiddeltemperaturens fordeling over året
SBI 1954, Mogens Raun Byberg et.al.
15. Short Time Determination of the Heat Dynamics of Buildings
LfV DTU november 1993, H. Madsen et.al.
16. Temperatursimuleringer i termisk let, højisoleret kontorhus
LfV DTH december 1987, Kirsten Engelund Thomsen et.al.

11 - Bilag

11.1 - Bilag 1 – Medfølgende CD-ROM:

1. Projektrapport i PDF-format.
2. BSim2002 referencemodel
3. BSim2002 model med variabel U-værdi
4. BuildingCalc Referencemodel for variabel U-værdi med aktiv køling
5. BuildingCalc Referencemodel for variabel U-værdi uden aktiv køling
6. BuildingCalc Referencemodel for variabel U-værdi med aktiv køling og solafskærmning
7. BuildingCalc model med variabel U-værdi med aktiv køling
8. BuildingCalc model med variabel U-værdi uden aktiv køling
9. BuildingCalc model med variabel U-værdi med aktiv køling og solafskærmning
10. BuildingCalc Referencemodel for vejrudsigtsstyring med naturlig ventileret natkøling
11. BuildingCalc Referencemodel for vejrudsigtsstyring med natsænkning på varmeanlægget
12. BuildingCalc Vejrudsigtstyring med naturlig ventileret natkøling
13. BuildingCalc Vejrudsigtstyring af natsænkning på varmeanlægget

Medfølgende CD-ROM placeres her

Hvis CD-ROMen mangler kan indholdet findes på:
www.projekt.intelligent-byggeri.dk

11.2 - Bilag 2 – Ligningssystem for BSim2002

Nedenfor er vist ligningssystem til beregning af en zones samlede varmebalance i BSim2002:

$$T_{\text{luft}} \left(\sum_{\text{konstruktioner}} \frac{A_{\text{surf}}}{R_{\text{surf}}} + \sum_{\text{vinduer /døre}} A_{\text{vinduer}} \cdot U_{\text{surf}} V(\rho c_p)_{\text{luft}} \left(n_{\text{udeluft}} + \sum_{\text{zoner}} n_{\text{zone}} \right) \right) =$$

$$\sum_{\text{konstruktioner}} \frac{A_{\text{surf}} \cdot T_{\text{surf}}}{R_{\text{surf}}} + \sum_{\text{vinduer /døre}} A_{\text{vinduer}} \cdot U_{\text{surf}} \cdot T_{\text{nabozone}} +$$

$$V(\rho c_p)_{\text{luft}} \left(n_{\text{udeluft}} + \sum_{\text{zoner}} n_{\text{zone}} \right) + \varphi_{\text{luft, sol}} + \varphi_{\text{luft, vent}}$$

11.3 - Bilag 3 – Ligningssystem for BuildingCalc

Ligningssystem for varmekapacitet i konstruktioner og indeluft:

$$C_i \frac{dT_a}{dt} = UA \cdot (T_{\text{ext}} - T_a) + K_i \cdot (T_s - T_a) + S \cdot w_a \cdot Q_{\text{sun}} + L + H - C$$

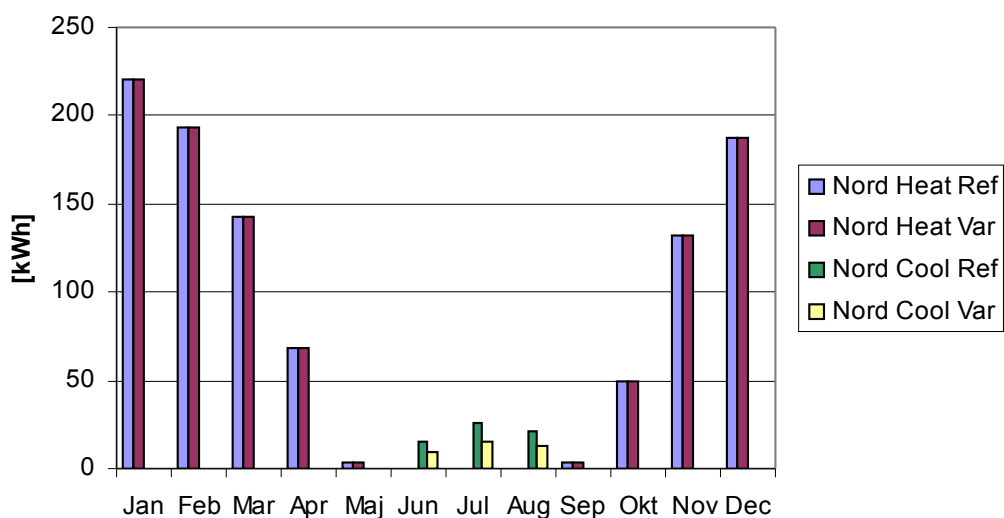
$$C_w \frac{dT_w}{dt} = K_w \cdot (T_s - T_w)$$

Ligningssystem for interne overflader:

$$0 = K_w \cdot (T_w - T_s) + K_i \cdot (T_a - T_s) + S \cdot w_w \cdot Q_{\text{sun}}$$

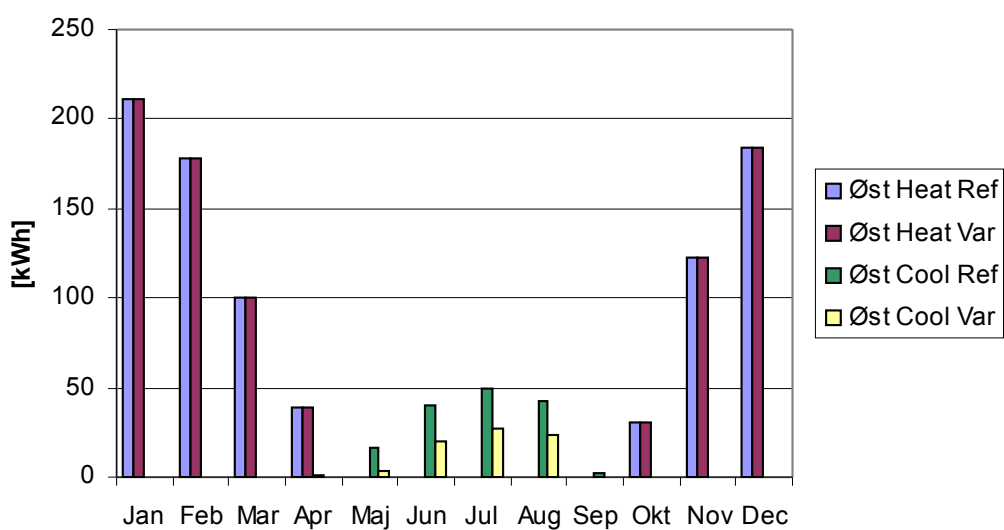
11.4 - Bilag 4 – Resultater for simulering i BuildingCalc med brug af solafskærmning

11.4.1 - Resultater for det nordvendte lokale:



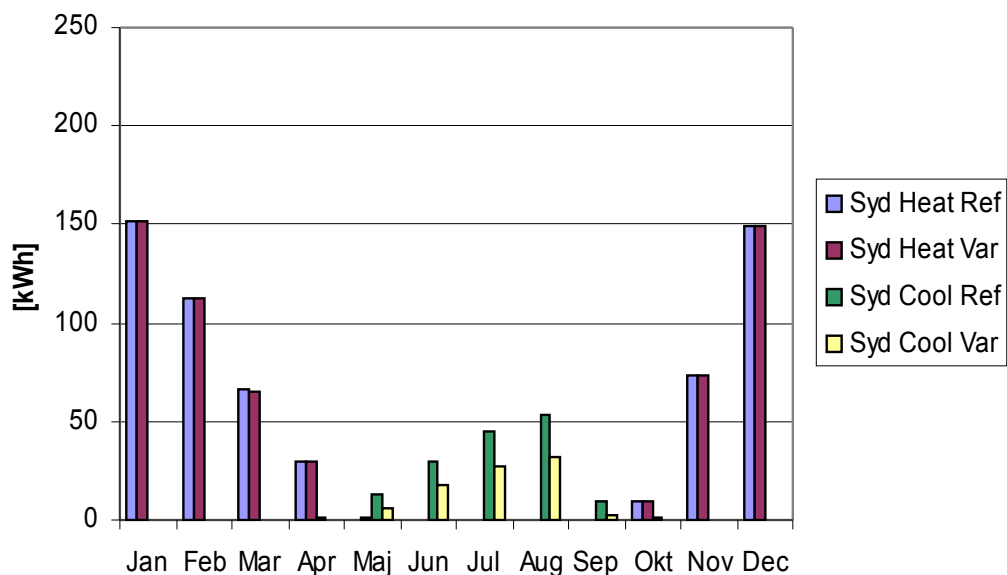
figur 36: Varme- og køleeffekt for nordvendt lokale

11.4.2 - Resultater for det østvendte lokale:



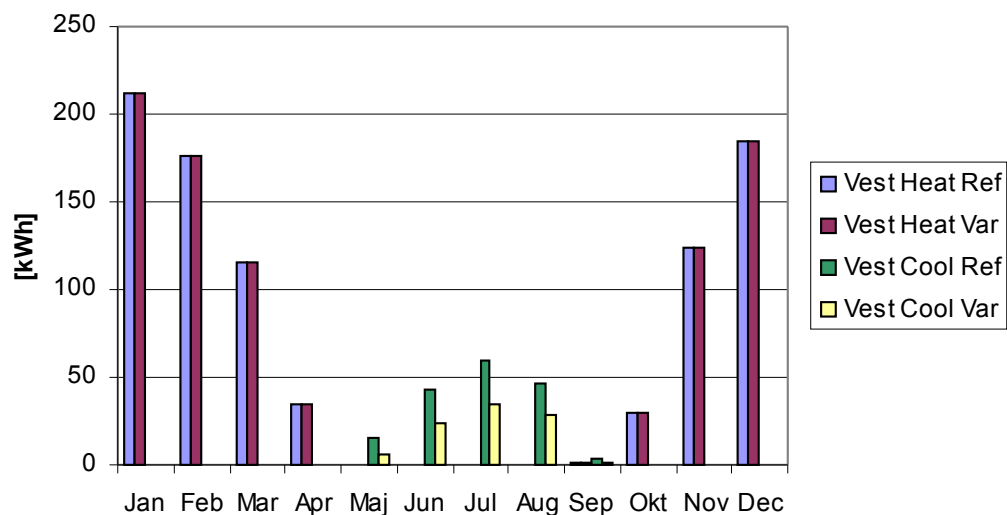
figur 37: Varme- og køleeffekt for østvendt lokale

11.4.3 - Resultater for det sydvendte lokale:



figur 38: Varme- og køleeffekt for sydvendt lokale

11.4.4 - Resultater for det vestvendte lokale:



figur 39: Varme- og køleeffekt for vestvendt lokale

Intelligent byggeri

Med og uden teknologi

Jacob Nielsen - s971193 - Eksamensprojekt - 2005