



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Undersøgelse af Strategier for Passiv Køling

Kobbelgaard, A.; Heiselberg, Per

Publication date:
2008

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Kobbelgaard, A., & Heiselberg, P. (2008). *Undersøgelse af Strategier for Passiv Køling*. Department of Civil Engineering, Aalborg University. DCE Technical reports Nr. 54

General rights

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

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

Take down policy

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

Undersøgelse af Strategier for Passiv Køling

Anders Kobbelgaard
Per Heiselberg

Aalborg University
Department of Civil Engineering
Architectural Engineering

DCE Technical Report No. 054

Undersøgelse af Strategier for Passiv Køling

by

Anders Kobbelgaard
Per Heiselberg

December 2008

© Aalborg University

Indhold

1 Fremtidige energikrav for kontorbyggeri	1
1.1 Beskrivelse af kontorbygningen	2
1.2 Synliggørelse af køleeffekt	7
1.3 Opsamling	23
1.4 Primær vs. netto energiberegninger	23
2 Kontrolberegning i BSim	25
2.1 Simplificering af modellen	25
2.2 Sammenligning af simuleringerne i BSim og Be06	27
2.3 Resultatbehandling	28
3 BSim med optimeret styring	35
3.1 Intelligent styring af systemer	35
3.2 Samlet vurdering på de tre simuleringsserier	40
Litteraturliste	43

Bilag

Fremtidige energikrav for kontorbyggeri

1

I det nye Bygningsreglementet fra 2008, er energirammen for kontorbyggeri blevet ændret. En af ændringerne består i at der er blevet lavet en særskilt energiramme for lavenergi kontorer. Ligesom den hidtidige lavenergiramme, som er baseret på 75 % og 50 % af energirammen for boliger, er der nu defineret en lavenergiramme for kontorbyggerier, som er baseret på 75 % og 50 % af energirammen for kontorer. I tabel 1.1 er den nye energiramme og lavenergiramme fra BR08 listet.

Eksisterende mindstekrav	$(95 + \frac{2200}{A}) \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$
Lavenergi klasse 2	$(70 + \frac{1600}{A}) \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$
Lavenergi klasse 1	$(50 + \frac{1100}{A}) \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$

Tabel 1.1:
Eksisterende energiramme for kontorbygninger, samt den nye lavenergiramme for kontorer.

Målet for fremtiden er at energirammen skal sænkes, så mindstekravet i 2010 sænkes til lavenergi klasse 2, og mindstekravet i 2015 sænkes til lavenergi klasse 1. [Transport- og Energiministeriet, 2005]

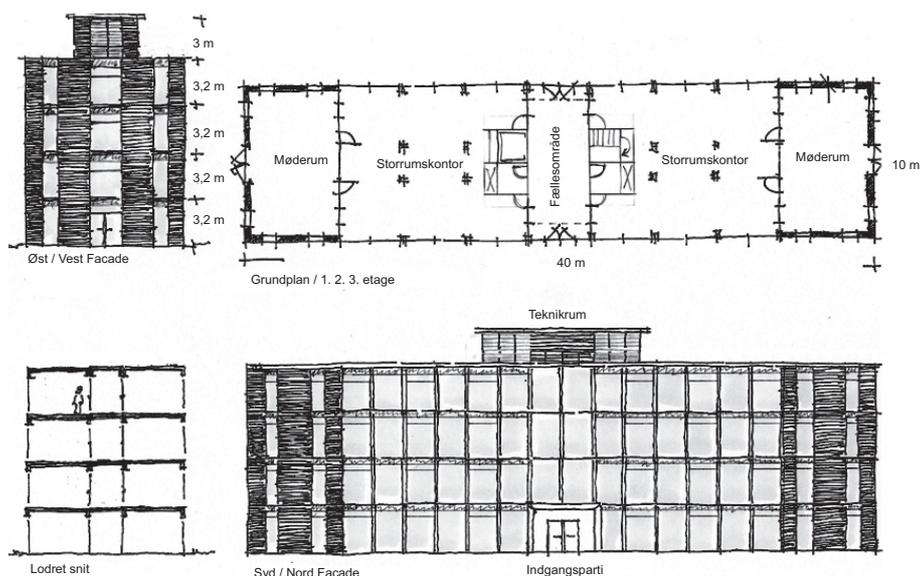
Køling, både passiv såvel som aktiv, er en stor faktor i det samlede energiregnskab. For at synliggøre effekten af de forskellige metoder til køling af en kontorbygning, vil der i dette kapitel blive gennemgået et beregningseksempel. Beregningseksemplet indeholder 3 eksempler, et for hver af energirammerne. Beregningseksemplet tager udgangspunkt i Be06, hvor der til hver af energirammerne er lavet en reference bygning. For alle reference bygningerne gælder det, at der ikke er nogen form for køling tilføjet bygningen. Dette er gjort for at de forskellige kølemetoder kan tilføjes bygningen individuelt, og på den måde kan en uafhængig effekt findes.

Som udgangspunkt for beregningseksemplet benyttes en eksempelbygning fra SBi, som er brugt i forbindelse med lanceringen af Be06. De 3 reference bygninger er lavet så de overholder hver deres energiramme, hvis der ses bort fra overtemperaturer. Begrundelsen for at kunne se bort fra overtemperaturer er, at disse forventes at kunne fjernes ved brug af passiv og naturlig køling, som ikke forventes at påvirke energiregnskabet negativt.

1.1 Beskrivelse af kontorbygningen

Kontorbygningen er et eksempel på en typisk kontorbygning, hvor en stor del af facaden er vinduer. Kontorbygningen er en 4 etagers bygning med storrumskontorer og mødelokaler. På figur 1.1 er grundplanen og facaderne for kontor bygningen skitseret.

Figur 1.1:
Tegningsmateriale af kontorbygningen som er udgangspunktet for beregningseksemplet. [Aggerholm, 2005]



I det følgende er der givet en detaljeret beskrivelse af de 3 referencebygninger, som er brugt i beregningseksemplet.

1.1.1 Bygningen overordnet

I tabel 1.2 er de overordnede bygningsdata for kontorbygningen listet. Igenem hele beregningseksemplet vil disse data være fastholdt, da de er essentielle for bygningens udseende og funktion.

Tabel 1.2:
Overordnede data for kontorbygningen.

Overordnede bygningsdata	
Opvarmet etageareal	1568 m^2
Areal af storrumskontorer og møderum	1344 m^2
Areal af trapperum mv.	224 m^2
Vinduesareal i forhold til etageareal	49 %
Vinduesareal i forhold til facadeareal	57 %
Brugstid	45 $\frac{h}{uge}$
Brugere i hele bygningen	70 <i>pers.</i>
Antal mødelokaler	8
Antal storrumskontorer	8

Intern belastning

Den interne belastning i bygningen er i eksemplet sat til $10 \frac{W}{m^2}$, fordelt som $4 \frac{W}{m^2}$ fra personer og $6 \frac{W}{m^2}$ fra apparatur. Disse værdier er de vejledende værdier fra SBI, og omregnet til antal personer, svarer det til 70 kontorarbejdere i bygningen, der alle har en fuldt udstyret kontorarbejdsplads med computer. Ud over at hver person har en privat computer, er der også medregnet deleudstyr, som printere og kopimaskiner i de $6 \frac{W}{m^2}$.

1.1.2 Klimaskærmen

I de tre beregningseksempler er der benyttet Rationel vinduer. Fælles for de tre eksempler er vinduernes rammer poste og karme, som ikke ændres. I tabel 1.3 er de specifikke data for rammer poste og karme til vinduer og døre i de tre eksempelbygninger listet.

Karm	
U-værdi	$1,35 \frac{W}{m^2 \cdot K}$
Bredden i vinduets plan	$0,054 m$
Poste	
U-værdi	$1,45 \frac{W}{m^2 \cdot K}$
Bredden i vinduets plan	$0,087 m$
Ramme	
U-værdi	$1,90 \frac{W}{m^2 \cdot K}$
Bredden i vinduets plan	$0,092 m$ (for døre) $0,05 m$ (for vinduer)

Tabel 1.3:
Data for rammer poste og karme i de tre eksempelbygninger.

I de tre eksempelbygninger er der valgt forskellige rudetyper til døre og vinduer. Fælles for de tre reference bygninger er det at der er benyttet trelags ruder fra Pilkingtons Optitern S(3) serie. Data for ruderne er hentet ud fra Pilkingtons produktkatalog og listet i tabel 1.4

	Enhed	Basis	LEK 2	LEK 1
Gas fyldning		Ar	Kr	Kr
Lavenergibelægninger		1xS(3)	1xS(3)	2xS(3)
U-værdi	$[\frac{W}{m^2 \cdot K}]$	1,0	0,8	0,5
g-værdi	$[-]$	0,54	0,52	0,50
Linietaf afstandsprofil	$[\frac{W}{m \cdot K}]$	0,06	0,06	0,06
Lystransmittans	$[\%]$	72	72	71

Tabel 1.4:
Data for rudetyperne i de tre eksempelbygninger. [Pilkington, 2007]

Ud fra de i tabel 1.3 og 1.4 opstillede data beregnes U-værdierne for alle de forskellige vinduer i de tre eksempelbygninger. U-værdierne er opstillet i

tabel 1.5.

Tabel 1.5:

U-værdier for de syv forskellige vinduestyper i de tre eksempelbygninger.

Vinduestype	U-værdi		
	Basis $[\frac{W}{m^2 \cdot K}]$	LEK 2 $[\frac{W}{m^2 \cdot K}]$	LEK 1 $[\frac{W}{m^2 \cdot K}]$
Fløjdør	1,4	1,18	0,96
Oplukkeligt smalt vindue	1,44	1,24	1,04
Smalt vindue	1,29	1,04	0,78
Bredt vindue	1,22	0,95	0,68
Lavt vindue	1,5	1,3	1,09
Udluftningsvindue i trapperum	1,53	1,35	1,18
Oplukkeligt vindue i kontor og mødelokale	1,36	1,13	0,90

Ydervæggen opbygget af betonelementer yderst, på indersiden er der isoleret med mineraluld og lukket af med gipsplader. Tagkonstruktionen er af træ, isoleret med mineraluld, og ydersiden er krydsfiner beklædt med tagpap. Kælderdækket er af beton, og der er isoleret med mineraluld. Disse oplysninger er kun brugt i forbindelse med beregningen af bygningens U-værdier.

I tabel 1.6 er U-værdierne og isoleringstykkelserne listet for de tre eksempelbygninger.

Tabel 1.6:

U-værdier for vægge, tag og gulv i de tre eksempelbygninger.

Konstruktion	Isoleringstykkelse $[mm]$	U-værdi $[\frac{W}{m^2 \cdot K}]$
Basis		
Tunge ydervægge	150	0,27
Kælderdæk	125	0,28
Tag	250	0,15
LEK 2		
Tunge ydervægge	250	0,15
Kælderdæk	250	0,15
Tag	250	0,15
LEK 1		
Tunge ydervægge	350	0,106
Kælderdæk	350	0,106
Tag	350	0,106

1.1.3 Ventilation

I alle tre eksempelbygninger er der installeret mekanisk ventilation, som opretholder et basis luftskifte på $1 \frac{l}{s \cdot m^2}$. Ventilationsanlægget har en genfindingsgrad på henholdsvis 0,8 i basis bygningen og 0,85 i de to lavenergi

bygninger. Data for ventilationssystemerne er listet i tabel 1.7.

	Enhed	Basis	LEK 2	LEK 1
Ventilations luftmængde	$[\frac{l}{s \cdot m^2}]$	1	1	1
Genvindingsgrad	[-]	0,8	0,85	0,85
Indblæsningstemperatur	[°C]	18	18	18
Infiltration	$[\frac{l}{s \cdot m^2}]$	0,09	0,09	0,08
SEL-værdi	[-]	1,9	1,7	1,7

Tabel 1.7:
Data for ventilationssystemet i eksempelbygningerne.

1.1.4 Belysning

Selvom styring på belysningen betragtes som en passiv kølingsstrategi, og ud fra grundideen med beregningseksemplet derfor burde fjernes helt, er det ikke muligt at overholde energirammen uden belysningsstyring. I basis eksemplet samt i eksemplet med LEK 2 bygningen, er der benyttet manuel dagslysstyring. I eksemplet med LEK 1 bygningen er der benyttet automatisk styring efter dagslys. Det overordnede belysningsniveau i eksempelbygningerne er sat til 200 *lux* i kontorer og møderum og 50 *lux* i alle andre rum. Ud over baggrundsbelysningen er der også installeret arbejdsbelysning i kontorerne. Belysningsstyringen er afhængig af dagslyset i bygningen, derfor er storrumskontorerne delt op i to arealer, da dagslysfaktoren varierer meget i lokalet, alt efter afstand fra vinduerne. Opdelingen er lavet, så de dele af kontoret der er mere end 3 meter fra en facade er en del, og resten af kontoret er den anden del. Data for belysningen i basis eksempelbygninger er listet i tabel 1.8.

	Areal	Almen min.	Almen inst.	Dagslysfaktor	Arbejdsbelysning
	$[m^2]$	$[\frac{W}{m^2}]$	$[\frac{W}{m^2}]$	[%]	$[\frac{W}{m^2}]$
Møderum	480	0,5	7	1,35	0
Kontorer langs facade	576	0,5	7	4,5	2
Kontorer midt i rummet	288	0,5	7	2,25	2
Trapperum	128	0,5	3	2,7	0
Trappe	24	0	3	0	0
Andre rum	72	0	3	0	0

Tabel 1.8:
Data for belysningssystemet i basis eksempelbygningen.

I det følgende er de ændringer der er foretaget i lavenergi eksemplerne i forhold til basis eksemplet listet.

- Arbejdsbelysningen i kontorerne er i eksemplerne med LEK 2 og 1 bygningerne ændret til $1 \frac{W}{m^2}$.

- Udnyttelsestiden af møderummene er reduceret fra 100 % til 80 % i LEK 1 eksemplet.

1.1.5 Be06 beregning for de tre beregningseksempler

Med den opbygning af de tre referencer, som er defineret tidligere i afsnittet, laves en Be06 beregning af de tre referencehuse. Denne Be06 beregning skal danne udgangspunkt for det beregningseksempel som skal laves. Disse tre referencehuse bliver definitionen for nul køling i beregningseksemplet, og er det udgangspunkt, som de forskellige kølemetoder skal holdes op imod.

Be06 arbejder med både primær og netto energi. Forskellen på disse to energiformer er, at den primære energi er en korrigeret energimængde, hvor imod netto energi er den faktiske energi uden korrektion. Grunden til at Be06 arbejder med primær energi er for at tage højde for, at produktionen af elektrisk energi har en effektivitet på 0,4. I energiberegningen i Be06, er den elektriske energi derfor ganget med en faktor på 2,5. For at kunne kende forskel på primær og netto energi, er primær energi i det følgende mærket med (P) og netto energi er mærket med (N).

I Be06 behandles køling også ud fra en fiktiv størrelse som kaldes overtemperatur. Overtemperaturen i Be06 er den elektriske energi, som et køleanlæg med en effektivitet på 2 vil påvirke energiregnskabet med for at tilfredsstille kølebehovet. Da overtemperaturen er den elektriske energi til køleanlægget, er denne multipliceret med 2,5. Formlen for overtemperatur i Be06 er angivet som formel 1.1.

$$Q_{ot} = \frac{Q_{kb} \cdot 2,5}{2} \quad (1.1)$$

hvor

$$\begin{aligned} Q_{ot} & : \text{ overtemperaturen i Be06 } \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}} \right] \\ Q_{kb} & : \text{ kølebehovet i bygningen ved et kølesetpunkt på } 26 \text{ } ^\circ\text{C} \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}} \right] \end{aligned}$$

I det følgende vil netto energien være den størrelse som benyttes som sammenligningsgrundlag for kølingsstrategierne. Dette har betydning for den elektriske energi, som vurderes direkte som netto energi, samt for kølebehovet, som ikke må forveksles med overtemperaturen, som betragtes som en primær størrelse.

Som tidligere nævnt, er de tre referencer opstillet, så de overholder henholdsvis basiskravene og kravene for lavenergi klasse 2 og 1, hvis der ses

bort fra behovet for køling. Resultaterne fra Be06 beregningerne for de tre referencebygninger er vist som nøgletal i tabel 1.9.

	Basis	LEK 2	LEK 1
Samlet energibehov(P)	132,3	118,8	107,3
Varme(N)	46,7	33,9	22,6
Kølebehov(N)	37,1	39,8	45,4
El til bygningsdrift(N)	15,8	14,1	11,2
Samlet energibehov uden overtemperatur(P)	86,4	69	50,7

Tabel 1.9:
Nøgletal fra BE06 beregningerne for de tre referencebygninger. Alle tal i $\left[\frac{kWh}{m^2 \cdot år}\right]$

Varme og el er yderligere specificeret i Be06. De specifikke tal for varme og el for de tre referencebygninger er angivet i tabel 1.10.

	Basis	LEK 2	LEK1
El			
Belysning(N)	11,1	9,8	7,0
Ventilatorer(N)	4,5	4,0	4,0
Pumper(N)	0,2	0,2	0,2
Varme			
Rumopvarmning(N)	38,2	26,2	15,0
Varmt brugsvand(N)	7,1	7,1	7,1

Tabel 1.10:
Udspecificerede resultater for varme og el, fra Be06 beregningerne for referencebygningerne.

1.2 Synliggørelse af køleeffekt

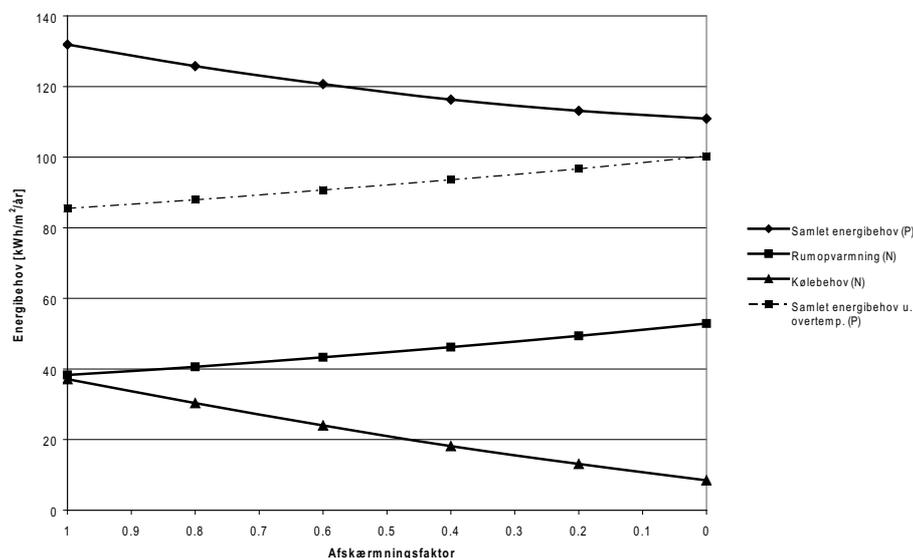
For at undersøge hvilken køleeffekt der er ved forskellige kølemetoder, laves et beregningseksempel i Be06. Som tidligere nævnt er udgangspunktet for beregningseksemplet de referencebygninger, som er beskrevet tidligere i afsnittet.

Måden hvorpå beregningseksemplet er bygget op, er at hver kølemetode undersøges individuelt, ved en parametervariation i Be06. Effektiviteten af den pågældende kølemetode måles direkte som reduktionen i kølebehovet. Da beregningen af kølebehovet i Be06 er baseret på måneds middelværdier, og programmet i sig selv er meget uigennemtsigtigt, laves efterfølgende enkelte kontrolberegninger i BSim. Formålet med denne kontrol er, dels at sikre stabiliteten i Be06 beregningerne, samt for at have en beregning i et program, hvor mulighederne for at variere køleparametrene er meget større end i Be06.

1.2.1 Solafskærmning

Solafskærmning bruges til at mindske solindfaldet gennem vinduerne i bygningen. Da over halvdelen af bygningens facade er glaspartier, forventes solafskærmningen at have en stor effekt på belastningen fra solindstråling, og dermed overtemperaturerne i bygningerne. Ved at variere på afskærmningsfaktoren, som beskriver hvor stor en procentdel af det indstrålende sollys som gennemtrænger afskærmningen, vurderes effekten af øget solafskærmning som kølingsstrategi. Afskærmningsfaktoren ændres fra 1, der svarer til ingen afskærmning, til 0, som svarer til at intet sollys trænger igennem, med intervaller på 0,2. På figur 1.2 er resultatet af parametervariationen med basis bygningen som reference vist.

Figur 1.2:
Graf for parametervariationen af afskærmningsfaktoren. Grafen viser resultatet for parametervariationen med basis bygningen som reference.



For begge lavenergi bygninger er tendensen den samme som for basis bygningen. En lavere afskærmningsfaktor resulterer i en reduktion i overtemperaturen, men samtidig forårsager reduktionen et større behov for rumopvarmning. I Be06 beregningen er der ikke noget direkte energiforbrug til køling ved øget solafskærmning, men inddirekte forårsager den øgede solafskærmning et øget energiforbrug til rumopvarmning. I tabel 1.11 er reduktionen i overtemperaturer samt forøgelsen i rumopvarmning listet for alle tre bygninger.

Tabel 1.11:
Reduktionen i overtemperaturer samt forøgelsen i rumopvarmning ved tilføjelse af fuld solafskærmning.

		Basis	LEK 2	LEK 1
Reduktion i kølebehov (N)	$[\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}]$	28,4	30	33,2
Forøgelse af energibehov til rumopvarmning (N)	$[\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}]$	14,7	12,4	9,6

Ud fra resultaterne i tabel 1.11 er det muligt at beregne en effektivitetsfaktor

for køling ved brug af solafskærmning. Netto effektivitetsfaktoren beregnes ud fra formel 1.2.

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta Q_{kb}}{\Delta Q_{ro}} \quad (1.2)$$

hvor

- ε_a : netto effektivitetsfaktoren for køling ved anvendelse af solafskærmning
 ΔQ_{kb} : reduktion i kølebehov (N) $\left[\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}\right]$
 ΔQ_{ro} : forøgelse i energibehov til rumopvarmning (N) $\left[\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}\right]$

Effektiviteten beregnet ved formel 1.2 er en effektivitet, som er knyttet specifikt til det pågældende eksempel, og den kan ikke bruges generelt for effektiviteten af forøget solafskærmning som kølingsstrategi. Effektivitetsfaktoren varierer også hen over parametervariationen, så den er størst ved variationen fra 1 til 0,9 og mindst ved variationen fra 0,1 til 0 i afskærmningsfaktor. De beregnede effektivitetsfaktorer for de tre eksempelbygninger, er listet i tabel 1.12.

	Basis	LEK 2	LEK 1
$\varepsilon_{a,max}$	2,8	3,6	5,5
$\varepsilon_{a,min}$	1,3	1,5	2,2
$\varepsilon_{a,snit}$	1,9	2,4	3,5

Tabel 1.12:

Effektivitetsfaktorerne beregnet ved formel 1.2 for hver af de tre eksempelbygninger. $\varepsilon_{a,max}$ er for variationen fra 1 til 0,9 og $\varepsilon_{a,min}$ er for variationen fra 0,1 til 0. $\varepsilon_{a,snit}$ er den gennemsnitlige effektivitetsfaktor over hele variationsintervallet.

Grunden til at $\varepsilon_{a,snit}$ er så forskellig for de tre eksempler, er, at behovet for rumopvarmning er afhængigt af varmetabet fra bygningen. I og med at der er forskellige varmetab fra de tre bygninger, på grund af forskellige isoleringsgrader, så er $\varepsilon_{a,snit}$ forskellig for de tre eksempler.

1.2.2 Forceret mekanisk ventilation

Med forceret mekanisk ventilation menes der, at ventilationsraten øges i forhold til basisventilationen. Køleeffekten afhænger af den temperaturforskel, som er imellem indblæsningsluften og udsugningsluften samt ventilationsluftmængden. Sammenhængen er vist som formel 1.3.

$$\Phi_v = \rho_l \cdot c_{p,l} \cdot q_l \cdot (t_u - t_i) \quad (1.3)$$

hvor

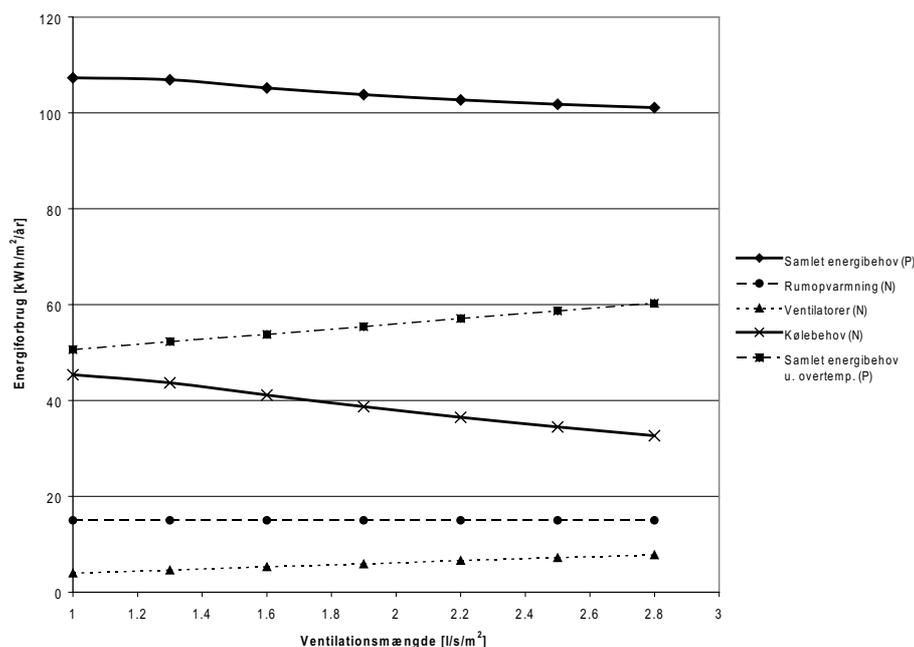
$$\begin{aligned} \Phi_v & : \text{varmetabet ved ventilation [W]} \\ \rho_l & : \text{massefylde for luft } \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \\ c_{p,l} & : \text{ventilationsluftens varmekapacitet } \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right] \\ q_l & : \text{volumenstrømmen i ventilationssystemet } \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \\ t_u & : \text{temperaturen af udsugningsluften } [^\circ\text{C}] \\ t_i & : \text{temperaturen af indblæsningsluften } [^\circ\text{C}] \end{aligned}$$

En forudsætning for gyldigheden af formel 1.3 er, at temperaturforskellen imellem indblæsning og udsugning ikke er for stor. Grunden til denne forudsætning er at materialeparametrene for luft er temperaturafhængige, og at der i formel 1.3 er regnet med de samme materialeparametre for indblæsnings og udsugningsluften.

Forceret mekanisk ventilation som køling implementeres oftest sent i kølingsstrategien. Fordelen ved denne kølemetode er den store fleksibilitet i forbindelse med styring, hvilket gør forceret mekanisk ventilation velegnet til at dæmpe udsving grundet variationer i intern belastning, så indetemperaturen holdes konstant. I beregningseksemplet er denne kølingsstrategi dog brug som den eneste kølingform.

Parametervariationen med forceret køling er lavet i området $1 \frac{l}{s \cdot m^2}$ til $2,8 \frac{l}{s \cdot m^2}$ for hver $0,3 \frac{l}{s \cdot m^2}$. Den forcerede mekaniske ventilation er indsat i arbejdstiden, hvor der i forvejen er basisventilation på $1 \frac{l}{s \cdot m^2}$. Resultatet af parametervariationen i Be06 med LEK 1 bygningen som reference er vist på figur 1.3.

Figur 1.3:
Graf for parametervariationen af forceringen på den mekaniske ventilation uden for opvarmnings sæsonen. Grafen viser resultatet for parametervariationen med LEK 1 bygningen som reference.



Forcingen af den mekaniske ventilation er kun gældende i de måneder hvor der ikke er et opvarmningsbehov. Ud fra figur 1.3 er det tydeligt, at forceret mekanisk ventilation ikke er effektiv som eneste kølestrategi. Kølebehov, elbehov til ventilator samt kølebehov er reelle behov uden korrektioner, hvor de 2 samlede energibehov er værdier fra Be06. Den forcerede mekaniske ventilation har ikke den tilsigtede funktion, da tilføjelsen af systemet resulterer i en konstant forøgelse af ventilationsmængden. Dette er fordi der under hele parametervariationen er et kølebehov, hvilket medfører at ventilationsanlægget kører på 100 % kapacitet.

Resultatet af parametervariationen viser, at en øget ventilationsluftmængde for forceret mekanisk ventilation resulterer i en reduktion af kølebehovet. Ved en større lufttransport stiger ventilatorens elforbrug også.

For den forcerede mekaniske ventilation udregnes effektiviteten ud fra formel 1.4, og er forholdet mellem de positive og negative effekter ved implementeringen af forceret mekanisk ventilation som kølingsstrategi.

$$\varepsilon_{fm} = \frac{\Delta Q_{kb}}{\Delta Q_v} \quad (1.4)$$

hvor

$$\Delta Q_v \quad : \quad \text{forøgelse i netto elbehov til ventilatordrift} \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}} \right]$$

Resultatet af variationen af den maksimale ventilations luftmængde fra 1 $\frac{l}{s \cdot m^2}$ til 2,8 $\frac{l}{s \cdot m^2}$ for den forcerede mekaniske ventilation er listet i tabel 1.13.

		Basis	LEK 2	LEK 1
Reduktion i kølebehov(N)	$\left[\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}} \right]$	9,0	10,2	12,7
Forøgelse af energibehov til ventilatordrift(N)	$\left[\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}} \right]$	3,2	3,2	3,8

Tabel 1.13:
Resultat af Be06 beregning ved ændring af ventilations luftmængden for mekanisk ventilation fra 1 $\left[\frac{l}{s \cdot m^2} \right]$ til 2,8 $\left[\frac{l}{s \cdot m^2} \right]$, som er grænserne for parametervariationen for forceret mekanisk ventilation.

Ud fra formel 1.4 beregnes den gennemsnitlige effektivitet ved implementeringen af forceret mekanisk ventilation som kølingsstrategi i de tre referencbygninger.

	Basis	LEK 2	LEK 1
ε_{fm}	2,8	3,2	3,3

Tabel 1.14:
Effektivitetsfaktorer for de tre eksempelbygninger ved implementering af forceret mekanisk ventilation som kølingsstrategi. Effektivitetsfaktorerne er beregnet efter formel 1.4, og alle er netto effektivitetsfaktorer.

I tabel 1.14 er det vist at, effektivitetsfaktorerne for køleeffekten ved forceret mekanisk ventilation afhænger mest af SEL-værdien, da effektivitetsfakto-

ren ved implementering af forceret mekanisk ventilation i basis bygningen er lavere end de to andre referencebygninger. Effektivitetsfaktoren er lidt højere i LEK 1 eksemplet end i LEK 2 eksemplet, hvilket henføres til det større kølebehov der som udgangspunkt er i LEK 1 referencebygningen.

1.2.3 Naturlig ventilation

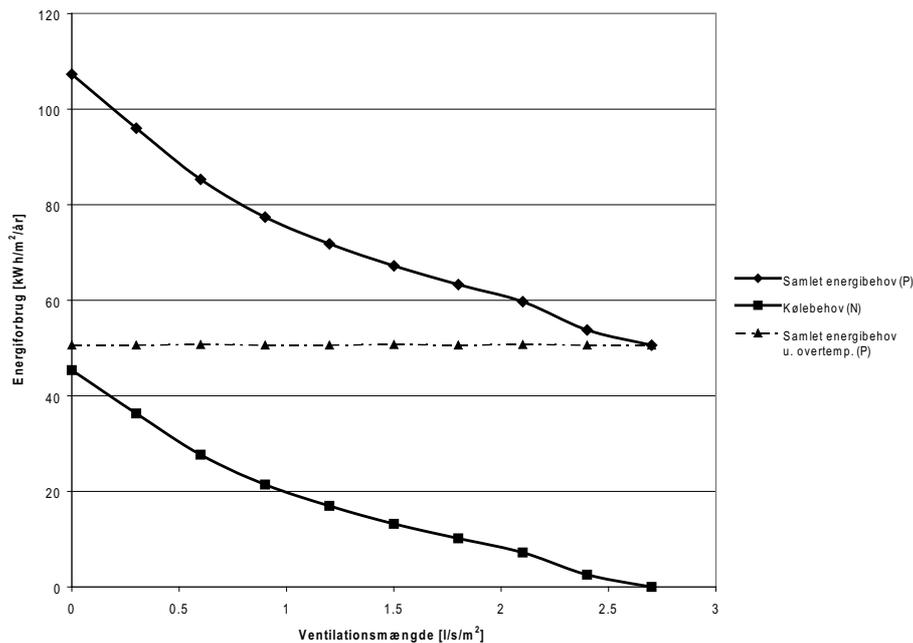
For naturlig ventilation er der foretaget tre parametervariationer. De tre parametervariationer er lavet for henholdsvis naturlig ventilation hele døgnet, uden for arbejdstiden og i arbejdstiden. For alle tre tilfælde er der kun tilføjet naturlig ventilation i sommerperioden.

For alle tre parametervariationer er det naturlige luftskifte ændret fra $0 \frac{l}{s \cdot m^2}$ til $2,7 \frac{l}{s \cdot m^2}$ i intervaller på $0,3 \frac{l}{s \cdot m^2}$. I Be06 skal den angivne luftmængde for naturlig ventilation for henholdsvis sommer dag og nat være den maksimale naturlige ventilation, der i gennemsnit kan opnås på varme sommerdage og om natten i varme sommerperioder. Denne angivelse af hvilke ventilationsluftmængder for den naturlige ventilation er meget usikker, da luftskiftet afhænger af temperaturforskellen mellem inde og udeluft, samt vindhastighed og retning. På grund af den store forenkling i Be06, kan det forventes at effekterne for naturlig ventilation er upræcise, og derfor vil naturlig ventilation være et fokuspunkt i BSim beregningerne senere.

Naturlig ventilation hele døgnet

Ved implementering af naturlig ventilation hele døgnet, er den eneste effekt på energiregnskabet en reduktion af kølebehovet. Resultaterne af parametervariationen ved implementering af naturlig ventilation hele døgnet er afbilledet i figur 1.4.

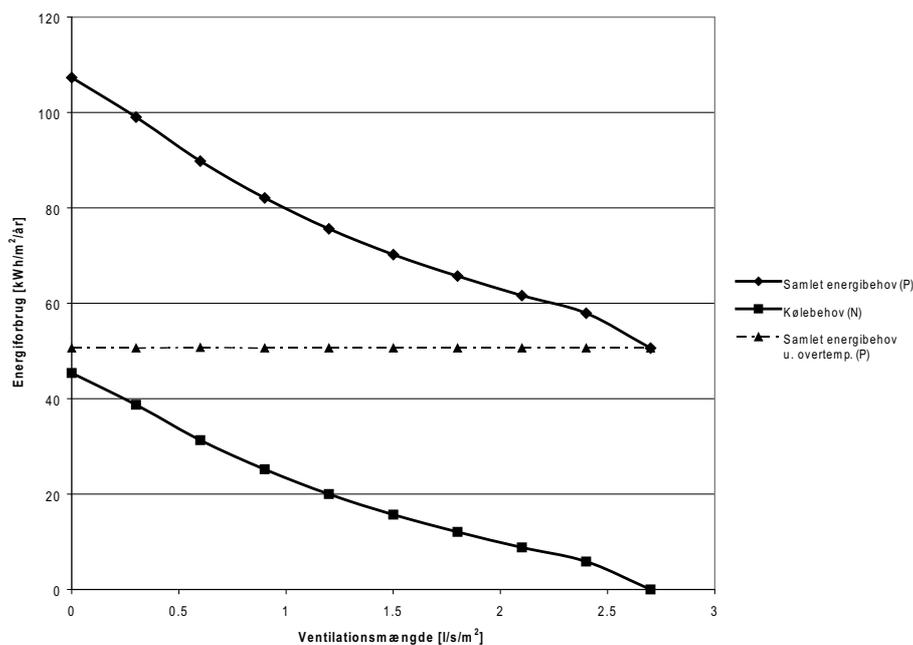
Resultaterne fra Be06 beregningen, hvor LEK 1 bygningen er brugt som reference, er afbilledet på figur 1.4. Ud fra disse resultater kan de konkluderes, at ved tilføjelse af et naturligt ventilationssystem, som kan opretholde et luftskifte på $2,7 \frac{l}{s \cdot m^2}$, er der ikke behov for yderligere køling i bygningen. Dette resultat forventes af være i modstrid med virkeligheden, og BSim beregningen forventes at give modstridende resultater. På grund af formodningen om unøjagtigheder ved naturlig ventilation i Be06, undersøges effektiviteten af naturlig ventilation i og uden for brugstiden.



Figur 1.4:
Graf for parametervariationen af naturlig ventilation om sommeren. Grafen viser resultatet for parametervariationen med LEK 1 bygningen som reference.

Naturlig natventilation

Som opfølgning på undersøgelsen af køleffekten ved naturlig ventilation hele døgnet, undersøges nu køleffekten af implementering af naturlig ventilation i perioden udenfor arbejdstiden. Som ved naturlig ventilation hele døgnet er variationsintervallet $0 \frac{l}{s \cdot m^2}$ til $2,7 \frac{l}{s \cdot m^2}$ med spring på $0,3 \frac{l}{s \cdot m^2}$. Resultatet af parametervariationen med LEK 1 kontoret som reference er vist som figur 1.5.



Figur 1.5:
Graf for parametervariationen af naturlig ventilation uden for arbejdstiden om sommeren. Grafen viser resultatet for parametervariationen med LEK 1 bygningen som reference.

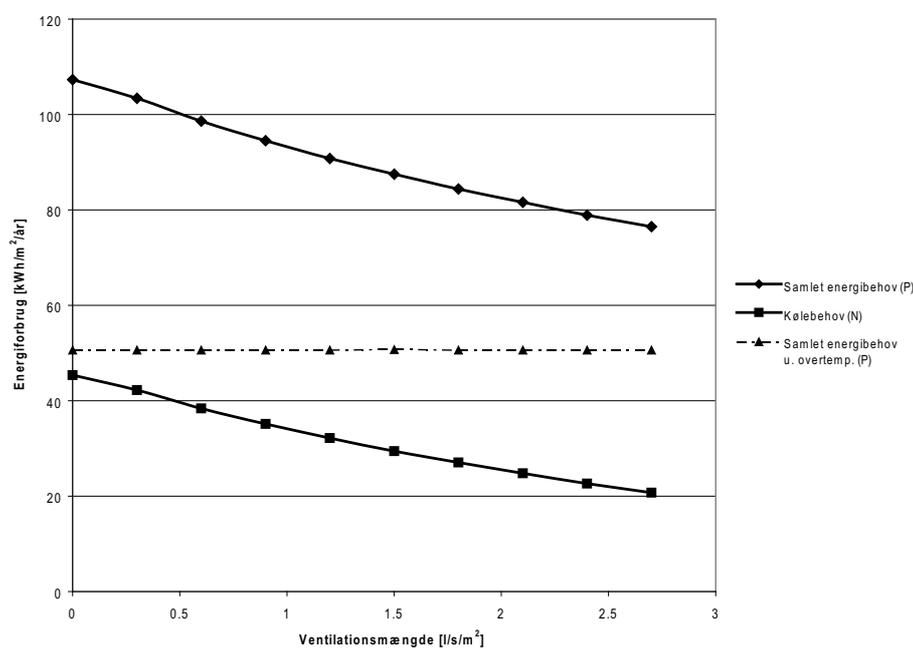
Resultatet af parametervariationen viser, noget overraskende, at LEK 1

referencebygningen ikke vil have noget yderligere kølebehov, hvis naturlig ventilation implementeres som det eneste kølesystem. Driftstiden skal være imellem 17 og 08 i sommerperioden, og luftmængden $2,7 \frac{l}{s \cdot m^2}$. Dette resultat virker, ligesom det foregående resultat, utroværdigt, og en sammenligning med BSim er nødvendig før konklusioner kan drages.

Naturlig ventilation i brugstiden

Opsætningen for denne undersøgelse er den samme som den foregående, på nær driftstiden, der er fra 08 til 17. Resultatet er vist på figur 1.6.

Figur 1.6:
Graf for parametervariationen af naturlig ventilation i arbejdstiden om sommeren. Grafen viser resultatet for parametervariationen med LEK 1 bygningen som reference.



Opsamling

Formålet med den yderligere undersøgelse af naturlig ventilation i sommerperioden er, at skabe et større sammenligningsgrundlag imellem undersøgelserne i Be06 og BSim. Som tidligere beskrevet er der ingen negative effekter på energibalancen i Be06 ved implementering af naturlig ventilation i sommerperioden, hvilket gør naturlig ventilation til den mest attraktive kølemetode i Be06, da en bygnings kølebehov i Be06 kan håndteres af et naturligt ventilationssystem.

For at kunne sammenligne køleeffekten ved naturlig ventilation i og uden for bygningens brugstid er det nødvendigt at tage højde for tidsrummet, hvori ventilationssystemerne er i funktion. Da den naturlige natventilation kører i 15 timer om døgnet og den naturlige ventilation kun kører 9 timer i døgnet,

kan køleeffekten ikke sammenlignes direkte. I tabel 1.15 er køleeffekten ved implementering af naturlig ventilation i og uden for arbejdstiden listet.

Ændring i ventilationsrate $\left[\frac{l}{s \cdot m^2}\right]$	Basis		LEK 2		LEK 1	
	8-17	17-8	8-17	17-8	8-17	17-8
0,0-0,6	0,50	0,57	0,57	0,69	0,77	0,94
0,6-1,2	0,47	0,52	0,57	0,61	0,69	0,75
1,2-1,8	0,43	0,44	0,47	0,48	0,57	0,53
1,8-2,4	0,36	0,41	0,42	0,42	0,49	0,42
2,4-2,7	0,16	0,25	0,18	0,45	0,21	0,39

Tabel 1.15:
Reduktion af kølebehovet for de tre eksempelbygninger ved ændring af ventilationsraten for naturlig ventilation i og uden for arbejdstiden. Alle resultater er angivet i $\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$, hvor reduktionen af kølebehovet er angivet pr. times drift pr. døgn.

Resultatet fra tabel 1.15 viser reduktionen i kølebehovet ved implementering af naturlig ventilation i og uden for arbejdstiden. Resultaterne er gjort sammenlignelige ved en omregning til reduktion i køleeffekt pr. times ventilationsdrift pr. døgn, så enheden bliver $\left[\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}} \frac{h}{\text{døgn}}\right]$

Forventningen er, at køleeffekten ved naturlig ventilation er uafhængig af arbejdstiden, da den udelufttemperatur som benyttes til beregningerne af køleeffekten er en konstant temperatur for hver måned. Dette faktum gør at en beregning i Be06, hvor naturlig ventilation udgør en stor del af kølingsstrategien må forventes at afvige fra de virkelige resultat.

Resultaterne i tabel 1.15 stemmer overens med forventningerne for resultaterne, på nær første og sidste luftstrømsændring, hvor der er større forskelle imellem køleeffekten ved naturlig ventilation i og uden for arbejdstiden, end ved de resterende luftstrømsændringer.

Årsagen til den store forskel imellem køleeffekterne ved ændringen fra $2,4 \frac{l}{s \cdot m^2}$ til $2,7 \frac{l}{s \cdot m^2}$ er at kølebehovet bliver 0 for naturlig ventilation uden for arbejdstiden. Dette medfører en diskontinuitet i tendenskurven for kølebehovet vist på figur 1.5. Dette spring tyder på at Be06 har problemer med håndteringen af overgangen til 0 i kølebehov, og skyldes afrundinger i beregningerne i Be06.

Den største køleeffekt ved naturlig ventilation er opnået med LEK 1 kontoret som reference. Kølebehovet kunne tilfredsstilles ved implementering af et naturligt ventilationssystem med en ventilationsrate på $2,7 \frac{l}{s \cdot m^2}$ i begge lavenergi kontorer. Da LEK 1 reference kontoret har det største kølebehov, er det derfor implementeringen af naturlig ventilation som kølingsstrategi i denne bygning, som har den største effekt.

For at kunne sammenligne effekten af den naturlige ventilation som kølingsstrategi implementeret i de tre referencebygninger designes en effektivitetsfaktor angivet i ligning 1.5. Denne effektivitetsgrad er et mål for hvor effektiv implementeringen af naturlig ventilation med en ventilationsrate på $2,4 \frac{l}{s \cdot m^2}$ er som kølingsstrategi. Grunden til at de $2,4 \frac{l}{s \cdot m^2}$ er valgt som ventilationsrater, er for at undgå den unøjagtighed i resultaterne, som er beskrevet tidligere.

$$\varepsilon_{nv,2.4} = \frac{\Delta Q_{kb}}{t_{d\theta gn}} \quad (1.5)$$

hvor

$$\begin{aligned} \varepsilon_{nv,2.4} &: \text{køleeffekten ved naturlig ventilation ved } 2,4 \frac{l}{s \cdot m^2} \text{ pr. times} \\ &\quad \text{drift pr. døgn } \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}} \cdot \frac{h}{d\theta gn} \right] \\ t_{d\theta gn} &: \text{driftstid pr. døgn } \left[\frac{h}{d\theta gn} \right] \end{aligned}$$

Ud fra effektivitets definitionen givet i formel 1.5 beregnes effektiviteterne ved implementering af de tre forskellige kølingsstrategier på de tre referen-
cebygninger. Resultaterne er listet i tabel 1.16.

Tabel 1.16:
Køleeffektiviteten beregnet ud fra formel 1.5 ved implementering af de tre forskellige kølingsstrategier hvor naturlig ventilation benyttes.

	Basis $\left[\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}} \cdot \frac{h}{d\theta gn} \right]$	LEK 2 $\left[\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}} \cdot \frac{h}{d\theta gn} \right]$	LEK 1 $\left[\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}} \cdot \frac{h}{d\theta gn} \right]$
Naturlig ventilation 24 h i døgn	1,3	1,5	1,8
Naturlig ventilation i arbejdstiden	1,8	2,0	2,5
Naturlig ventilation uden for arbejdstiden	1,9	2,2	2,6

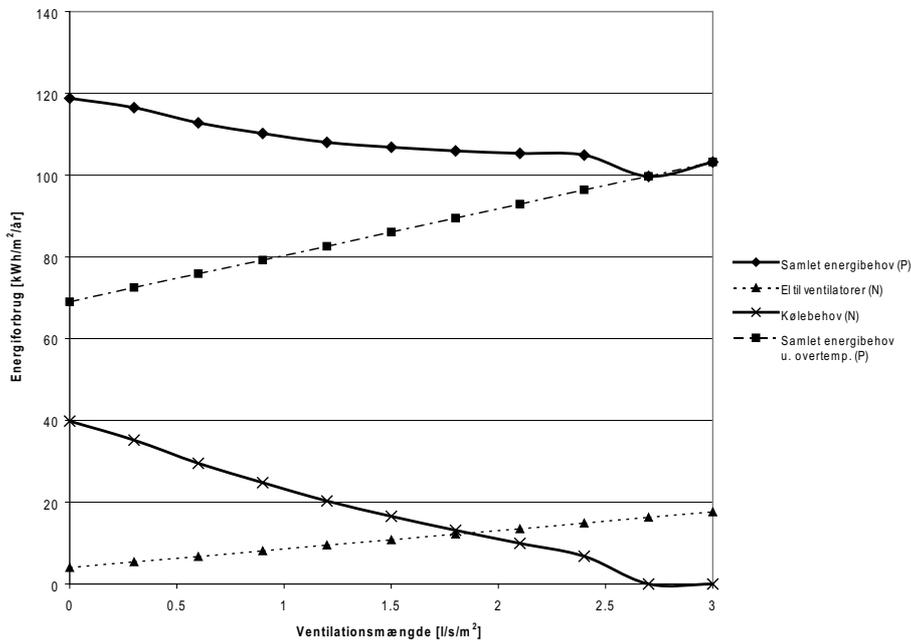
Ud fra resultaterne i tabel 1.16 konkluderes det, at køleeffekten ved naturlig ventilation stiger med kølebehovet i referencebygningen.

1.2.4 Mekanisk ventilation uden for arbejdstiden

Mekanisk ventilation uden for arbejdstiden som kølingsstrategi bliver ofte refereret til som natkøling. Denne kølingsstrategi er ofte anvendt i bygninger med stor varmekapacitet, da konstruktionselementerne som optager varme om dagen kan blive nedkølet med natkøling.

Undersøgelsen af køleeffekten ved mekanisk ventilation uden for arbejdstiden er, ligesom for de foregående kølingsstrategier, lavet ud fra en parametervariation i Be06. Ventilationsraten for mekanisk ventilation uden for arbejdstiden er ændret fra $0 \frac{l}{s \cdot m^2}$ til $3 \frac{l}{s \cdot m^2}$ i spring på $0,3 \frac{l}{s \cdot m^2}$, og ændring-

erne i nøgletallene fra Be06 er noteret. Resultaterne fra parametervariation i Be06 med LEK 2 kontoret som reference er vist som figur 1.7.



Figur 1.7: Graf for parametervariationen af mekanisk ventilation uden for arbejdstiden om sommeren. Grafen viser resultatet for parametervariationen med LEK 2 bygningen som reference.

Ud fra resultaterne på figur 1.7 er det tydeligt at, en maksimal ventilationsrate på $2,7 \frac{l}{s \cdot m^2}$ er tilstrækkeligt til at håndtere det kølebehov som er i LEK 2 referencebygningen. Ligesom ved naturlig ventilation, er der også ved mekanisk ventilation uden for arbejdstiden en uregelmæssighed omkring den sidste reduktion af kølebehovet.

Effektiviteten af mekanisk ventilation uden for arbejdstiden, måles som forholdet mellem reduktionen i kølebehov og forøgelsen i energiforbrug til ventilatordrift beskrevet ved ligning 1.6.

$$\varepsilon_{mv,ua} = \frac{\Delta Q_{kb}}{\Delta Q_v} \quad (1.6)$$

hvor

$\varepsilon_{mv,ua}$: netto effektivitetsfaktoren ved implementering af mekanisk ventilation uden for arbejdstiden som kølingsstrategi

Denne effektivitet er at sammenligne med en COP faktor for ventilations-systemet som kølesystem. Effektiviteten er beregnet for hver ændring under parametervariationen, og resultatet er listet i tabel 1.17.

Tabel 1.17:

Netto effektivitetsfaktorer ved implementering af mekanisk ventilation uden for arbejdstiden på de tre referencebygninger. Der er angivet maksimale og minimale effektivitetsfaktorer, samt en middel effektivitet for hele variationsintervallet op til uregelmæssighederne omkring nulpunktet for kølebehov.

	Basis	LEK 2	LEK 1
$\epsilon_{mv,ua,min}$	2,2	2,2	1,9
$\epsilon_{mv,ua,maks}$	3,4	4,4	4,7
$\epsilon_{mv,ua,snit}$	2,7	3,0	3,0

Mekanisk ventilation uden for arbejdstiden er kvantitativt set lige så effektiv, som naturlig ventilation uden for arbejdstiden er ved beregning i Be06. Dette skyldes at de to betydende parametre i køleeffekten ved ventilation i Be06 er luftmængde og temperaturforskelle. Modsat de tidligere parametervariationer adskiller mekanisk ventilation uden for arbejdstiden sig ved at, middeffektiviteten er næsten ens for de tre eksempler. Grunden til at $\epsilon_{mv,ua,snit}$ er mindre i eksemplet med basis bygningen som reference er, at SEL værdien for LEK 2 og LEK 1 referencerne er lavere end for basis referencen.

Denne kølingsstrategi er også interessant i forbindelse med den senere kontrol i BSim, da effektiviteten er afhængig af udetemperaturen uden for arbejdstiden. I Be06 bliver denne temperatur erstattet med måneds middeltemperaturen, som tidligere beskrevet, hvilket må forventes at nedsætte køleeffekten.

1.2.5 Belysningsstyring efter dagslys

Effekten af implementering af belysningsstyring efter dagslys som en kølingsstrategi er også blevet undersøgt i Be06. Undersøgelsen er foretaget ved at registrere ændringerne i energiforbruget ved ændring imellem de fire forskellige indstillinger for dagslysningsstyring.

- Uden
- Manuel
- Automatisk
- Kontinuert

Som beskrevet tidligere er basis og LEK 2 referencerne udstyret med manuel belysningsstyring, og LEK 1 referencen er udstyret med automatisk belysningsstyring. Ændringen i belysningsstyringen sænker elforbruget til belysning og kølebehovet men behovet for rumopvarmning stiger en lille smule. I tabel 1.18 er resultaterne for de tre eksempler listet.

Belysningsstyring	Kølebehov(N) [$\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$]	Elforbrug(N) [$\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$]	Rumopvarmning(N) [$\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$]
Basis			
Uden	41,8	17,5	37,4
Manuel	37,1	11,1	38,2
Automatisk	36,0	9,0	38,9
Kontinuert	35,5	6,9	40,0
LEK 2			
Uden	44,6	16,2	25,6
Manuel	39,8	9,8	26,2
Automatisk	38,6	7,7	26,8
Kontinuert	38,1	5,6	27,8
LEK 1			
Uden	51,9	15,2	14,1
Manuel	46,6	8,9	14,6
Automatisk	45,4	7,0	15,0
Kontinuert	44,8	5,3	15,7

Tabel 1.18:
Resultater fra de tre eksempler med ændring af belysningsstyringen i Be06.

Ud fra resultaterne listet i tabel 1.18 er det tydeligt, at implementering af bedre belysningsstyring i forhold til dagslyset ikke er en effektiv kølestrategi. Reduktionen i elforbruget til belysning er den mest markante ændring i energiforbruget, og derfor er en effektiv belysningsstyring en god ide, når lavenergirammerne skal overholdes. Ud fra resultaterne i Be06 er konklusionen, at implementeringen af belysningsstyring ikke er en effektiv metode til at reducere kølebehovet, men en nødvendighed for at overholde energirammerne.

1.2.6 Udskiftning af vinduesruder

En af de forskelle der er imellem basis referencen og de to lavenergi reference, er ruderne i bygningens vinduer og døre. For at kunne overholde lavenergirammerne, var det nødvendigt at isætte ruder med lavere U-værdi. I de tre referencebygninger er der brugt klart glas uden en solafskærmende belægning. For at undersøge hvilken indflydelse en solafskærmende belægning har på kølebehovet, er der lavet en række Be06 beregninger for LEK 1 referencebygningen, hvor forskellige solafskærmende ruder fra Pilkington er benyttet.

De ruder som isættes LEK 1 referencebygningen istedet for Optiterm S(3) ruderne, er alle af typen Pilkington Suncool Brilliant. Disse ruder har alle samme U-værdi som Optiterm S(3) ruderne, så vinduernes U-værdi ikke æn-

dres i undersøgelsen. De eneste parametre som ændres i Be06 beregningen er g -værdien og τ -værdien. Ændringen i g -værdien forventes at have samme effekt som ændringen i afskærmningsfaktoren, som er beskrevet tidligere. Reduktionen i τ -værdierne betyder at mængden af lys som trænger ind i bygningen reduceres, og dermed stiger behovet for kunstig belysning. Ruderne som benyttes er alle 3 lags ruder med krypton fyldning. Der er påført en SN lavenergibelægning, samt en solafskærmende belægning, som er den komponent som varierer. Vinduestyperne er

- Suncool Brilliant 66/33 (SB66)
- Suncool Brilliant 50/25 (SB50)
- Suncool Brilliant 30/17 (SB30)

Den rudetype som sidder i LEK 1 reference bygningen er som beskrevet tidligere en Pilkington 3 lags rude med krypton fyldning og to lavlavenergi belægninger af typen S(3), rudens navn er Optiterm S(3). De betydende værdier som ændres ved udskiftningen af ruderne er lys transmittansen τ og g -værdien for ruden. I tabel 1.19 er disse data listet for de fire forskellige rudetyper.

Tabel 1.19:
Data for de fire rudetyper som anvendes i beregnings-eksemplet. [Pilkington, 2007]

	τ [%]	g [-]
Optiterm S(3)	71	0,50
SB(66)	58	0,33
SB(50)	44	0,25
SB(30)	27	0,17

I modsætning til g -værdien for vinduerne, er lys transmittansen ikke et direkte input i Be06. Det input som er afhængigt at τ er dagslysfaktoren. Dagslysfaktoren, DF , skal derfor korrigeres for den ændrede τ -værdi for ruderne, da DF er direkte proportional med τ , skal DF ændres med samme forhold som τ ændres. Ændringsfaktorerne for DF er listet i tabel 1.20.

Tabel 1.20:
Korrektionsfaktor til dagslysfaktorer i Be06 beregningen, ved udskiftningen af ruderne.

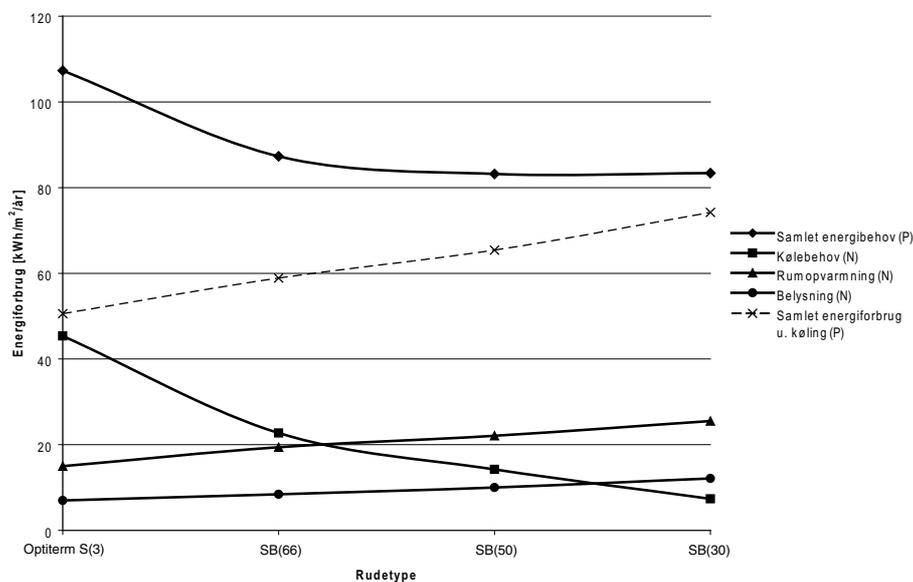
	Korrektionsfaktor
Optiterm S(3)	1
SB(66)	0,82
SB(50)	0,62
SB(30)	0,38

Ud fra de dagslysfaktorer, som er givet under beskrivelsen af bygningen, er de korrigerede dagslysfaktorer beregnet. Dagslysfaktorerne, som er brugt som input i Be06 beregningerne er listet i tabel 1.21.

	Optiterm S(3)	SB(66)	SB(50)	SB(30)
Møderum	1,35	1,11	0,84	0,51
Kontorer langs facade	4,50	3,69	2,79	1,71
Kontorer midt i rummet	2,25	1,85	1,40	0,86
Trapperum	2,70	2,21	1,67	1,03

Tabel 1.21:
Dagslysfaktorer benyttet i beregningseksemplet ved forskellige valg af rudetyper. Alle værdier i [%]

Disse ændringer er brugt som nye input i LEK 1 referencebygningen, og på figur 1.8 er de vigtigste nøgletal fra de fire Be06 beregninger vist i en graf.



Figur 1.8:
Resultaterne fra Be06 beregningerne, hvor ruderne skiftes i LEK 1 referencebygningen.

Resultaterne stemmer overens med det forventede, i og med at kølebehovet reduceres lige så effektivt, som ved implementering af solafskærmning som kølingsstrategi. Forskellen imellem en solafskærmning og solafskærmende glas er, at en solafskærmning kan styres, så den kun virker når der kommer for meget sol ind i bygningen, hvor imod solafskærmende glas altid er aktivt. Dette medfører, et større elforbrug til belysning, da mængden af sollys i bygningen bliver reduceret.

Som effektivitetsfaktor for implementering af solafskærmende glas som kølingsstrategi benyttes, ligesom ved de foregående kølingsstrategier, forholdet mellem ekstra besparelser og ekstra udgifter på energiregnskabet. I dette tilfælde kommer besparelserne i form af et lavere kølebehov, og de ekstra udgifter på energiregnskabet er et øget behov til rumopvarmning og belysning. I tabel 1.22 er data for disse tre poster listet.

Tabel 1.22:

Udvalgte nøgletal fra de fire Be06 beregninger, hvor rudetyperne ændres i LEK 1 reference bygningen.

Rudetype	Kølebehov [$\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$]	Rumopvarmning [$\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$]	Belysning [$\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$]
Optiterm S(3)	45,4	15,0	7,0
SB(66)	22,7	19,4	8,4
SB(50)	14,2	22,1	10,0
SB(30)	7,4	25,5	12,1

Definitionen på effektivitetsfaktoren for implementering af solafskærmende glas som kølingsstrategi er givet ved formel 1.7.

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta Q_{kb}}{\Delta Q_{ro} + \Delta Q_b} \quad (1.7)$$

hvor

- ε_g : effektivitetsfaktoren ved implementering af solafskærmende glas som kølingsstrategi
 ΔQ_b : ændringen i energiforbrug til belysning [$\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$]

Ud fra definitionen for effektivitetsfaktoren i ligning 1.7 og data fra Be06 beregningerne, beregnes effektivitetsfaktorerne ved ændring fra Optiterm S(3) ruder til hver af de 3 ruder med solafskærmende film. Ud over disse effektivitetsfaktorer, beregnes også effektivitetsfaktorerne ved en successiv udskiftning af vinduerne. Effektivitetsfaktorerne er listet i tabel 1.23.

Tabel 1.23:

Effektivitetsfaktorerne ved udskiftning af ruder i LEK 1 reference bygningen. Effektivitetsfaktorerne er angivet for henholdsvis udskiftning fra Optiterm glas til solafskærmende glas, og ved en successiv udskiftning, hvor τ og g hele tiden sænkes.

	Effektivitetsfaktor ved udskiftning ε_g	Effektivitetsfaktor ved successiv udskiftning $\varepsilon_{g,suc}$
SB(66)	3,9	3,9
SB(50)	3,1	2,0
SB(30)	2,4	1,3

Ud fra resultaterne i tabel 1.23 og på figur 1.8 kan det konkluderes at indsættelse af solafskærmende glas i stedet for klart glas er en effektiv kølingsstrategi, da kølebehovet reduceres, og ε_g er væsentligt større end 1. Det kan også konkluderes at effektfaktoren falder jo kraftigere solafskærmningen er i glasset.

I Be06 er forskellen på det samlede energiforbrug meget lille i de 3 beregninger med solafskærmende glas. Dette skyldes at forøgelsen i elbehovet til belysning ganges med en faktor 2,5 i Be06, da det er et elforbrug.

1.3 Opsamling

Formålet med beregningerne i Be06 var at finde kølepotentialet ved forskellige kølingsstrategier. Dette er blevet gjort ud fra både en kvantitativ vurdering, hvor størrelsen på reduktionen af kølebehovet er vurderet, samt ud fra en vurdering, hvor der er blevet defineret en effektivitetsfaktor, som er defineret som forholdet mellem reduktion i kølebehov og forøgelse i andre energibehov.

Ved den kvantitative vurdering var den mekaniske ventilation uden for arbejdstiden og den naturlige ventilation gode kølingsstrategier, da disse reducerede kølebehovet drastisk. Belysningsstyring og forceret mekanisk ventilation i arbejdstiden var i den anden ende af skalaen, hvor disse strategier udmærkede sig ved ikke at have den store effekt på kølebehovet.

Ved vurderingen efter effektivitetsfaktorerne var den bedste kølingsstrategi uden sammenligning naturlig ventilation. I Be06 giver den naturlige ventilation kun positive bidrag i energiregnskabet i form af en reduktion i kølebehovet, og hvis dette sammenholdes med at naturlig ventilation også er en kvantitativ god kølingsstrategi, så er denne kølingsstrategi en overlegen vinder i testen.

1.4 Primær vs. netto energiberegninger

Igennem hele afsnittet er det tilstræbt at holde alle beregningerne i netto energimængder. Årsagen til dette er, at formålet med beregningerne er at skaffe et sammenligningsgrundlag imellem Be06 og BSim, og da beregningerne i BSim foregår med netto energi, så er disse energi mængder brugt. Dette valg spiller kraftigt ind i beregningen af effektfaktorerne igennem hele afsnittet, da disse indeholder forskellige energityper.

Årsagen til at der regnes med primær energi i Be06, er for at tage højde for effektiviteten af den danske elproduktion, som er 0,4. Det vil sige at for at producere 1 kWh el skal der bruges 2,5 kWh fossilt brændsel. I Be06 er det kun ved elektrisk energi der skelnes mellem primær og netto energi, men hvis effektivitetsfaktorerne skal beregnes efter primær energi, er det nødvendigt at omregne samtlige energikilder til primære værdier. Et eksempel kunne være at 50 % af fjernvarmen produceres ved overskudsvarme fra elproduktionen. Hvis effektiviteten på den resterende fjernvarmeproduktion er 1, så skal der bruges 1 kWh fossilt brændsel for at producere 2 kWh fjernvarme, da de fossile brændsel som producerer overskudsvarmen allere-

de er indregnet i den elektriske energi.

Beregninger med primær energi er mere omfangsrige end beregningerne med netto energi, men for at lave en korrekt beregning med primær energi, skal energiproduktionen undersøges for hver enkelt case.

Kontrolberegning i BSim

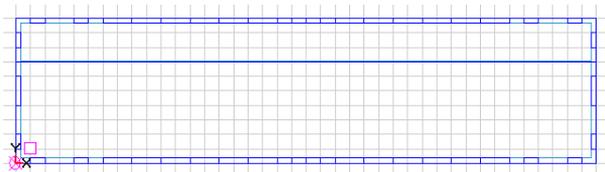
2

For at kunne holde beregningerne fra Be06 op imod nogle andre tal, er basis referencebygninger fra kapitel 1 modelleret i BSim, og de samme parametervariationer som blev udført i Be06 er udført på bygningen, hvor efter resultaterne er blevet sammenlignet. Sammenligningen går primært på de beregnede effektivitetsfaktorer samt størrelsen af reduktionen i kølebehovet. Formålet med denne kontrol er at få en indsigt i om Be06 beregningerne er korrekte, samt at konstatere hvilke typer fejl der kunne være tale om i Be06 beregningerne. I dette afsnit betragtes værdierne fra BSim beregningerne som korrekte værdier.

For at måle kølebehovet i BSim, er der indsat et køleanlæg med en COP faktor på 1. Setpunktet for køleanlægget er 26 °C ligesom i Be06, og ud fra energiforbruget til køleanlægget kan kølebehovet så aflæses. Dette vil give et køle behov, som er en lille smule under det faktiske, da der kan optræde situationer, hvor køleanlægget ikke kan holde temperaturen under 26 °C.

2.1 Simplificering af modellen

Modellen der er opbygget i BSim er næsten den samme bygning der er beskrevet i kapitel 1. Der er lavet den simplificering, at hele bygningen er lavet som en termisk zone med de samme systemer i hele bygningen. Da hele bygningen er simuleret som en termisk zone, er det muligt at samle alt den termiske masse som en væg i midten af bygningen, i stedet for at fordele det på komplekse vægkonstruktioner og inventar. Grundplanen der er anvendt i BSim er afbilledet på figur 2.1.



Figur 2.1:
Det ændrede grundplan til
simulering i BSim.

For at kunne tilføje belysningsstyring efter dagslys, er det nødvendigt at angive sollysfaktorer til vinduerne i bygningen. Disse sollysfaktorer er bestemt ud fra algoritmerne i hjælpefilen i BSim. I tabel 2.1 er de anvendte reflektanser i bygningen angivet.

Tabel 2.1:
Overfladereflektanser i
referencebygningerne.

Overflade	Reflektans
Gulv	0,45
Vægge og loft	0,85

2.1.1 Systemer

I det følgende er der kort gjort rede for hvilke systemer der er indsat i den termiske zone, som er tilknyttet referencebygningerne. Overordnet for alle systemerne er, at de alle er implementeret, så de så vidt muligt fungerer på samme måde, som de systemer som er indbygget i Be06.

Opvarmning

I bygningen er der tilføjet et varmeanlæg på 60 kW, som er sat til at opretholde en temperatur på 20 °C hele året. Setpunktet er 20 °C og varmen tilføres rummet via radiatorer, ligesom i Be06. Varmeanlæggets minimale effekt på 0,1 kW opnås ved en udetemperatur på 20 °C og den maksimale effekt ydes ved en udetemperatur på -12 °C, anlægget kører proportionalt imellem disse 2 punkter.

Udstyr

I Be06 er der angivet en termisk belastning fra udstyr på $6 \frac{W}{m^2}$ hvilket svarer til 9,4 kW i hele bygningen. Denne belastning er tilføjet til referencebygningerne i arbejdstiden fra 8 til 17 mandag til fredag. Udenfor arbejdstiden er der ikke angivet nogen termisk belastning fra udstyr. Belastningen er sat på med 80 % til luften og 20 % som stråling.

Infiltration

Der er påsat en infiltration på $0,09 \frac{l}{s \cdot m^2}$ hele tiden. Dette er den infiltrationen som er sat på i Be06.

Køling

For at kunne sammenholde BSim modellen med Be06 modellen, er det nødvendigt at kende kølebehovet ved et setpunkt på 26 °C. Dette er det output fra Be06, som tidligere blev defineret som måleenheden for køleeffektiviteten. For at kunne få dette output fra BSim, er der tilføjet et køleanlæg på 60 kW, som er sat til at virke, når temperaturen i den termiske zone overstiger 26 °C. Køleanlægget er sat til at levere hele kølekapaciteten til rumluften. I resultatarket vil køleenergien så være tilnærmelsesvist den samme som kølebehovet i Be06.

Belysning

Belysningen er tilføjet efter de effekter, som er påført i Be06. Dette giver en arbejdsbelysning på $1,7 \text{ kW}$ og en generel belysning på $10,1 \text{ kW}$ i hele zonen. Belysningsniveauet i hele zonen er sat til 200 lux , hvilket er en lille forenkling, da dette kun er gældende for kontorarealerne og møderummene i Be06. Styringen er sat til manuel On/Off regulering efter dagslys.

Personbelastning

Der er tilføjet en termisk belastning til zonen i tidrummet 8-17 mandag til fredag på $6,3 \text{ kW}$. Dette svarer til den termiske belastning fra personer i Be06 modellen på $4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.

Ventilation

Ventilationen er tilføjet som et balanceret ventilationsanlæg med en luftstrøm på $1,57 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$. Trykfaldet i systemet er påført ud fra SEL værdien i Be06, så både udsugnings og indblæsningssystemet giver anledning til et tryktab på 950 Pa . På systemet er der tilføjet en varmeplade, som sørger for at indblæsningsluften har en temperatur på minimum $18 \text{ }^\circ\text{C}$. Ventilationsanlægget kører med basisventilation i arbejdstiden fra 8-17 mandag til fredag.

2.2 Sammenligning af simuleringerne i BSim og Be06

For at undersøge hvor godt modellerne af de tre reference bygninger passer sammen, er resultaterne af simuleringerne i Be06 og BSim sammenlignet. I tabel 2.2 er de vigtigste parametre i varme regnskabet sammenlignet. Værdierne er hentet ud fra Be06 og BSim simuleringerne for referencebygningerne.

	Basis	LEK 2	LEK 1
BSim			
Rumopvarmning	40,0	28,4	16,8
Kølebehov	26,7	32,8	35,4
Belysning	3,9	2,4	7,2
El til ventilator	5,4	4,9	5,1
Be06			
Rumopvarmning	38,3	26,2	15,0
Kølebehov	37,1	39,8	45,4
Belysning	11,1	9,8	7,0
El til ventilator	4,5	4,0	4,0

Tabel 2.2:
Sammenligning af simuleringerne for de tre referencebygninger, foretaget i henholdsvis BSim og Be06. Alle tal i $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{år}}$ (Springet i belysningsbehovet i BSim beregningerne fra LEK 2 til LEK 1 er forårsaget af en ændring i belysningsstyringen, hvorfor denne styringsændring giver anledning til et forøget energi forbrug vides ikke, men det undersøges.)

Ud fra de data som er listet i tabel 2.2 er de mest iøjnefaldende værdier energiforbruget til belysning. Generelt er forbruget til belysning lavere

i BSim end det er i Be06, og Be06 angiver at det laveste forbrug for LEK 1 reference bygningen, hvor BSim viser at denne bygning har det største elforbrug til belysning. Årsagen til at elforbruget til belysning er markant større i Be06 end det er i BSim, kan være forårsaget af belysningsstyringen i Be06. For at undersøge dette laves der en simulering, hvor belysningsstyringen fra Be06 anvendes i BSim.

Kølebehovet er generelt større i Be06 end i BSim, men i BSim er det også målt ud fra effekten, som er tilført et køleanlæg med et setpunkt på 26 °C.

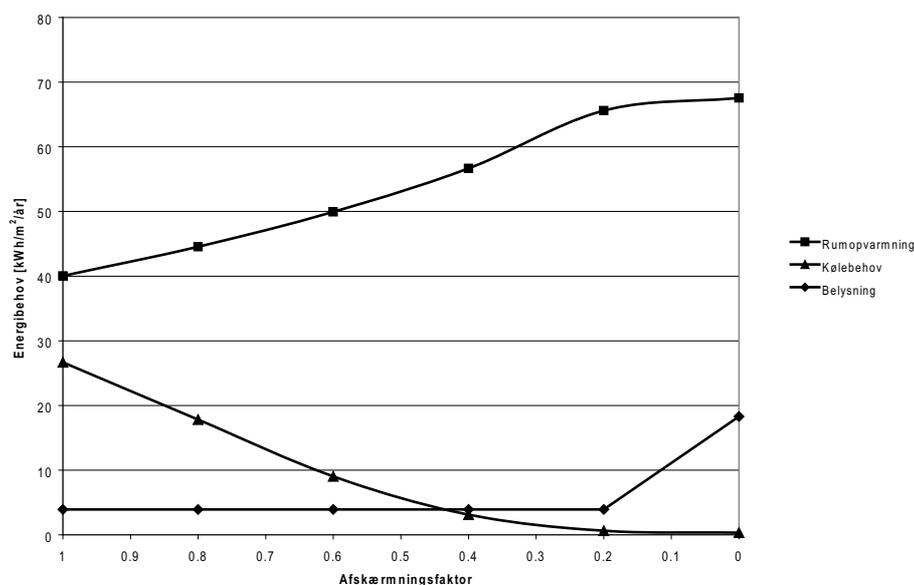
2.3 Resultatbehandling

Resultaterne fra BSim er meget mere detaljerede end de resultater der er trukket ud fra Be06 beregningerne. Dette skyldes at BSim beregningerne bliver foretaget ud fra timeværdier, hvor beregningerne i Be06 bliver foretaget ud fra månedsværdier. Da det ikke er en detaljeret termisk analyse, som ligger til grund for simuleringerne, benyttes kun års middelværdierne, så det er muligt at sammenligne med nøgletallene fra Be06.

2.3.1 Solafskærmning

Solafskærmningen er ligesom i Be06 blevet tilføjet, så den er aktiv når der er sol på vinduet. Simuleringen er foretaget så afskærmningsfaktoren ændres fra 1 til 0 i spring på 0,2. Resultaterne fra simuleringen er afbilledet i figur 2.2.

Figur 2.2:
Resultaterne fra BSim
simuleringerne, hvor af-
skærmningsfaktoren blev
varieret.



Lige som i Be06 simuleringen stiger energiforbruget til rumopvarmning og kølebehov falder, men ved variationen fra 0,2 til 0 stiger behovet for be-

lysning. Dette skyldes at lysniveauet i bygningen falder, så den kunstige belysning aktiveres. Ud fra resultaterne kan der beregnes en effektivitet, hvor det er forholdet imellem reduktionen i kølebehovet og de øgede energibehov til opvarmning og belysning. Effektiviteten beregnes ved formel 2.1.

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta Q_{kb}}{\Delta Q_{ro} + \Delta Q_l} \quad (2.1)$$

hvor

- ε_a : effektivitetsfaktoren for køling ved anvendelse af solafskærmning
- ΔQ_{kb} : reduktion i kølebehov $[\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}]$
- ΔQ_{ro} : forøgelse i energibehov til rumopvarmning $[\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}]$
- ΔQ_l : forøgelse i energibehov til belysning $[\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}]$

Ud fra figur 2.2 er det tydeligt at solafskærmning er en effektiv kølingsmetode, da kølebehovet reduceres, men ved beregning af effektivitetsfaktoren kan det konkluderes at det kun er rentabelt at indsætte solafskærmning med en afskærmningsfaktor ned til 0,2, efter dette punkt bliver effektivitetsfaktoren mindre end 1, og forøgelsen i energiforbruget til rumopvarmning og belysning overstiger reduktionen i kølebehovet. Den maksimale effektivitetsfaktor er ved ændringen fra 1 til 0,8 hvor effektiviteten er 2,0, hvilket er mindre end effektivitetsfaktoren beregnet i Be06.

Denne undersøgelse bygger på at solafskærmningen er fuldt aktiv, så længe solen er på vinduet. Dette er ikke den mest effektive styringsform, og det antages også at være grunden til den lave effektivitet. Årsagen til at denne styringsform er valgt, er at det er den styring der er i Be06.

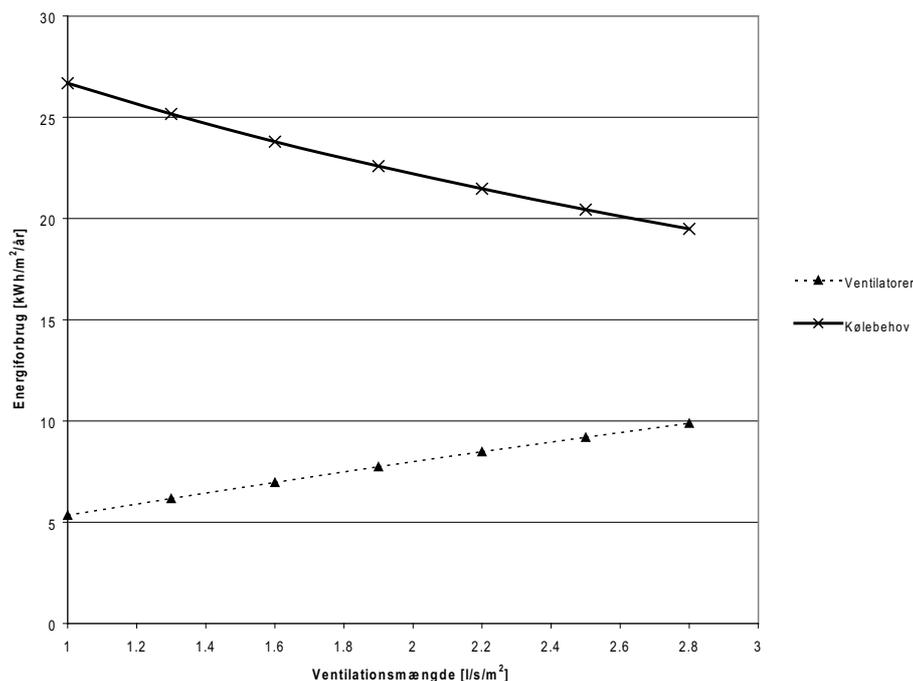
2.3.2 Forceret mekanisk ventilation

Den forcerede mekaniske ventilation er tilføjet som en VAV styring på ventilationsanlægget. Styringen er sat til at øge ventilationsluftmængden, hvis temperaturen i zonen overstiger 23 °C. Indblæsningstemperaturen er ligesom ved basisventilationen minimum 18 °C. Dette er den samme styring som er valgt i Be06. Styringen er aktiv i arbejdstiden hele året.

På figur 2.3 er resultaterne af simuleringerne i BSim, hvor forceringen på det mekaniske ventilationssystem varieres, afbilledet.

Ud fra resultaterne er det tydeligt at forceringen på det mekaniske ventilationssystem er en dårligere kølingsstrategi end forøgelse af solafskærmningen. Dette begrundes med at reduktionen i kølebehov ikke reduceres i nær

Figur 2.3:
Resultaterne af simuleringerne i BSim, hvor forceringen på det mekaniske ventilationssystem varieres.



samme omfang ved implementering af solafskærmning på vinduerne.

De berørte parametre ved implementering af forcering på det mekaniske ventilationsanlæg som kølingsstrategi er en forøgelse i elforbrug til ventilatorer samt en reduktion i kølebehovet. I Be06 medførte forceringen også en forøgelse i energiforbruget til rumopvarmning. Effektivitetsfaktoren for forcering af den mekaniske ventilation kan beregnes ud fra formel 2.2.

$$\varepsilon_{fm} = \frac{\Delta Q_{kb}}{\Delta Q_v} \quad (2.2)$$

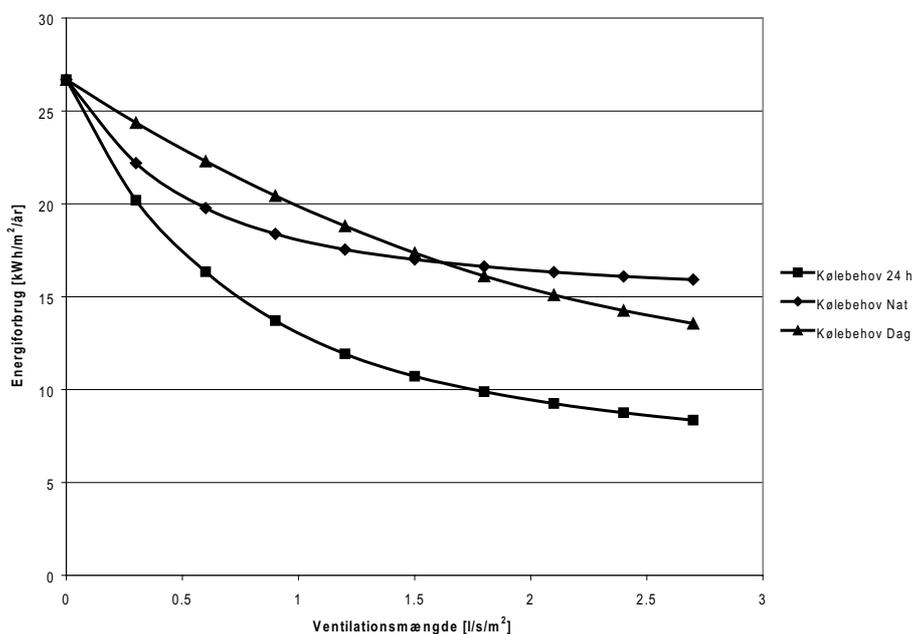
hvor

$$\Delta Q_v \quad : \quad \text{forøgelse i energibehov til ventilatordrift} \left[\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}} \right]$$

Ud fra formel 2.2 beregnes den gennemsnitlige effektivitetsfaktor for hele variationsområdet til 1,6. Effektivitetsfaktoren varierer fra 1,9 ved de første ændringer til 1,4 ved de sidste ændringer. Disse effektivitetsfaktorer er væsentligt lavere end de i Be06 beregnede. En årsag til dette er, at BSim simuleringerne benytter de faktiske udelufttemperaturer til beregningerne, og ikke måneds middel værdien.

2.3.3 Naturlig ventilation

Den naturlige ventilation er tilføjet bygningen som et ventingsystem. Som det var tilfældet for simuleringerne i Be06, er der i BSim lavet simuleringer hvor ventingsystemet er aktivt henholdsvis hele døgnet, i arbejdstiden og uden for arbejdstiden. Ventilationsluftmængden er varieret fra $0 \frac{l}{s \cdot m^2}$ til $2,7 \frac{l}{s \cdot m^2}$ i spring på $0,3 \frac{l}{s \cdot m^2}$. Dette er gjort ved at definere venting systemet, så det er uafhængigt af vejrforholdene, og kun er defineret med et basis luftskifte. Kontrollen på Venting systemet er lavet, så det aktiverer når indetemperaturen overstiger $24 \text{ }^\circ\text{C}$, ligesom i Be06. Resultaterne af de tre parametervariationer er afbilledet på figur 2.4.



Figur 2.4: Resultaterne for de tre simuleringer hvor naturlig ventilation er tilføjet som kølingsstrategi.

I Be06 var effektiviteten af naturlig ventilation uafhængig af tidspunktet på døgnet. I BSim er det tydeligt at køleeffektiviteten af den naturlige ventilation afhænger af tidspunktet på døgnet.

Ved den naturlige ventilation i arbejdstiden er sammenhængen mellem reduktionen i kølebehovet og ventilations luftmængden næsten retlinet, hvorimod den naturlige natventilation giver et mere krumt sammenhæng.

Lige som for Be06 er der kun positive effekter på energi regskabet ved naturlig ventilation. Det giver derfor igen mening at definere en effektivitetsfaktor for denne kølingsstrategi. I stedet for en effektivitetsfaktor, undersøges reduktionen i køleeffekten over hele intervallet, pr. times drift pr. døgn. Resultaterne af denne undersøgelse er listet i tabel 2.3.

Som forventet er reduktionen i kølebehovet ikke så massiv i BSim beregningerne som i Be06 beregningerne, hvor naturlig ventilation alene kunne

Tabel 2.3:
Køleeffektiviteten ved implementering af naturlig ventilation. Køleeffekten er angivet pr. times drift pr. døgn.

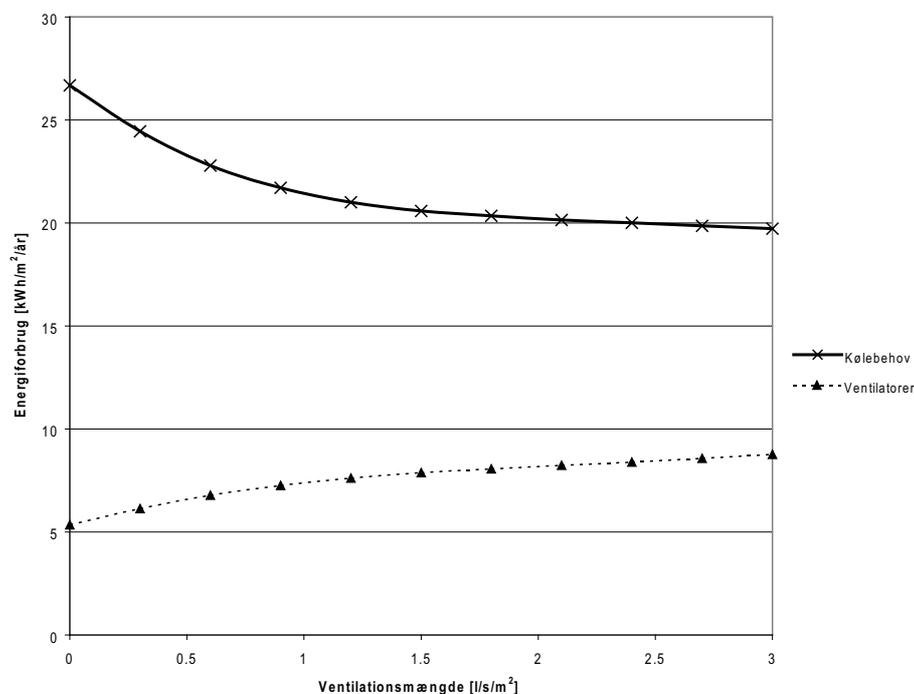
	Køleeffekt $\left[\frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}} \cdot \frac{h}{\text{døgn}} \right]$
Naturlig ventilation 24 h i døgnet	0,7
Naturlig ventilation i arbejdstiden	1,4
Naturlig ventilation uden for arbejdstiden	0,7

fjerne kølebehovet i bygningen. Naturlig ventilation 24 timer i døgnet kan dog halvere kølebehovet i bygningen allerede ved en ventilations luftmængde på $1 \frac{l}{s \cdot m^2}$. I BSim beregningerne er køleeffekten størst pr. times drift i arbejdstiden i forhold til uden for arbejdstiden. Dette skyldes den mere nøjagtige simulering i BSim, hvor både belastninger og temperaturer udregnes på timebasis.

2.3.4 Mekanisk ventilation uden for arbejdstiden

Mekanisk ventilation uden for arbejdstiden er tilføjet ud fra samme styringsparametre som i Be06. Systemet er aktivt hele året uden for arbejdstiden, altså fra 17-8. Ventilationssystemet aktiveres når indetemperaturen overstiger $24 \text{ }^\circ\text{C}$, og indblæsningstemperaturen er sat til minimum $18 \text{ }^\circ\text{C}$. Som for Be06 varierer ventilationsluftmængden fra $0 \frac{l}{s \cdot m^2}$ til $3 \frac{l}{s \cdot m^2}$ i spring på $0,3 \frac{l}{s \cdot m^2}$. Resultatet af parametervariationen i BSim er vist i figur 2.5.

Figur 2.5:
Resultatet af BSim simuleringen, hvor det mekaniske ventilationsanlæg køler bygningen uden for arbejdstiden.



I modsætning til beregningerne i Be06, hvor mekanisk ventilation uden for

arbejdstiden kan håndtere hele kølebehovet, viser BSim igen at denne kølingsstrategi er overvurderet i Be06. Ved de første to variationer er der en stor reduktion i kølebehovet, og som ved naturlig ventilation uden for arbejdstiden, er køleeffekten ikke proportional med luftmængden. Kølesystemets køleeffekt er begrænset af kølebehovet i driftstiden. Dette er ikke tilfældet i Be06, hvor der som før omtalt, regnes med middelværdier for 1 måned ad gangen.

Effektsfaktoren for mekanisk ventilation uden for arbejdstiden beregnes, ud fra formel 2.3.

$$\varepsilon_{mv,ua} = \frac{\Delta Q_{kb}}{\Delta Q_v} \quad (2.3)$$

Effektivitetsfaktoren for mekanisk ventilation uden for arbejdstiden er 2,9 ved $0,3 \frac{l}{s \cdot m^2}$ som ventilations luftmængde, og den falder til 2,0 ved $3,0 \frac{l}{s \cdot m^2}$. Disse effektivitetsfaktorer ligger et stykke under effektivitetsfaktorerne fra Be06, som har en maksimal effektivitet på 3,4. Dette

2.3.5 Belysningsstyring efter dagslys

Ved Be06 beregningerne i kapitel 1 resulterede implementeringen af belysningsstyring i en lille reduktion i kølebehovet. Den primære effekt ved implementering af bedre belysningsstyring i Be06 er en reduktion i elforbruget til belysning. Belysningsstyringen i Be06 er lavet ud fra følgende princip.

Uden Der er ikke belysningsstyring efter dagslyset. Lyset er tændt i hele arbejdstiden.

Manuel Beskrivelsen af denne belysningsstyring er at der er manuel styring, altså personerne i rummet bestemmer hvornår der er lys nok, og de har mulighed for at slukke den overordnede belysning på kontakter. Belysningsstyringen fungerer ud fra et tænd/sluk princip. Lysstyrken som anvendes af programmet er den fastsatte belysningsstyrke + 200 lux. Dette valg er lavet ud fra en betragtning om at manuel styring er forsinket, og at lyset derfor tændes før det er nødvendigt og slukkes senere end et tilstrækkeligt ude belysningsniveau er nået. Dette merforbrug svarer til at belysningsstyringen øges med 200 lux.

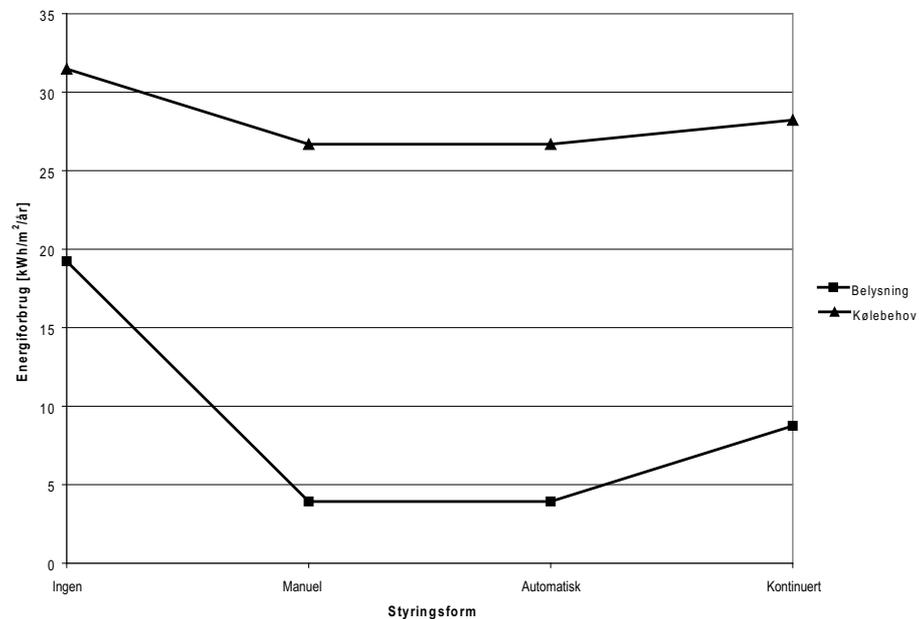
Automatisk Beskrivelsen af denne belysningsstyring er at der er automatisk styring, hvilket svarer til at der er opsat sensorer, som registrerer belysningsniveauet i rummet. Belysningsstyringen fungerer ud fra et tænd/sluk princip. Lysstyrken som anvendes af programmet er den fastsatte belysningsstyrke + 100 lux. Dette valg er lavet ud fra en betragtning om at automatisk styring ikke er præcis, og der derfor

vil være et merforbrug svarende til at belysningsstyringen øges med 100 *lux*.

Kontinuert Den eneste forskel imellem kontinuert og automatisk belysningsstyring er, at kontinuert belysningsstyring bygger på en kontinuert styringsmodel, hvor der er installeret dæmper på belysningen, så den kan tændes gradvist. Belysningsniveauet er også ved kontinuert styring sat til at være 100 *lux* over det ønskede, igen er det upræcise styring der er årsagen til dette valg.

For at undersøge effekten af belysningsstyringen efter Be06 modellen, er der lavet fire BSim simuleringer med basis bygningen som reference. På figur 2.6

Figur 2.6:
Resultaterne af BSim
simuleringen, hvor belysningsstyringen er varieret
efter styringsparametrene fra
Be06.



Resultaterne vist på figur 2.6 underbygger resultaterne fra Be06, som viste at belysningsstyring ikke er en kvantitativ god kølingsstrategi, men at den bør implementeres, da det medfører en besparelse i el til belysning og en reduktion i kølebehovet.

Den kontinuerte styring giver et større elforbrug en både den manuelle og automatiske, årsagen til dette er som før nævnt ikke kendt, men undersøges.

BSim med optimeret styring

3

I kapitel 2 er der lavet en serie simuleringer i BSim, hvor grundlaget for simuleringerne er de styringsparametre, som er fastsat i Be06. Da disse styringsparametre ikke alle er lige realistiske, er der derfor lavet en anden serie simuleringer i BSim, hvor styringsparametrene, som influerer på den aktuelle køle strategi, er optimeret en smule. Optimeringen er lavet, så systemernes køleevne øges, og så systemerne indstilles efter ud fra en “intelligent” styring. Igen er det basis referencen der tages udgangspunkt i ved alle simuleringerne.

3.1 Intelligent styring af systemer

Den intelligente styring af systemerne består i, at bygningens systemer sættes op, så køleeffekten ved den aktuelle kølingsstrategi maksimeres. I det følgende er det sidste sæt parametervariationer beskrevet. Disse parametervariationer er lavet for, at undersøge det reelle potentiale af de kølingsstrategier som blev undersøgt i kapitel 2.

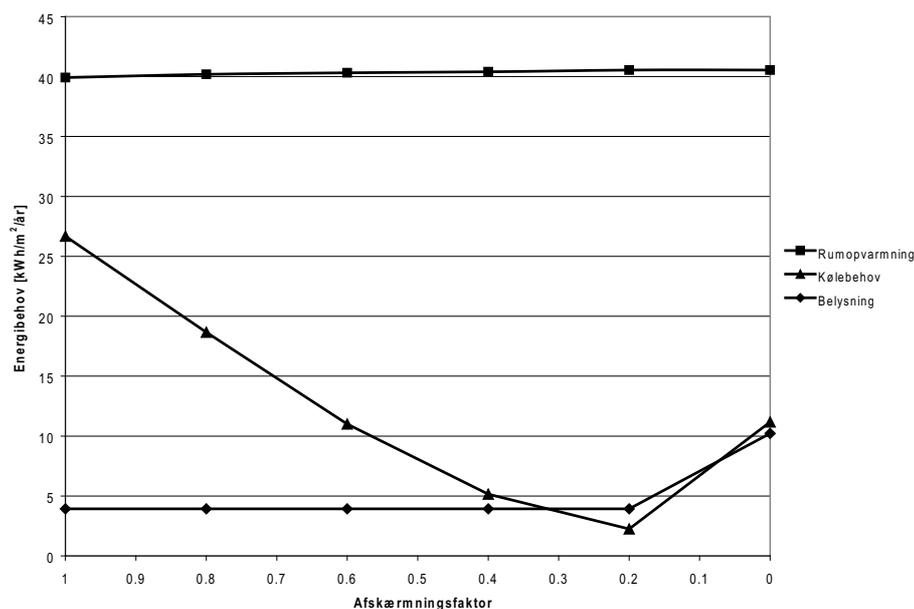
3.1.1 Solafskærmning

Den styring som Be06 benytter på solafskærmning er, at solafskærmningen er fuldt aktiv, når der er direkte sol på ruden. Denne styring forhindrer en optimal udnyttelse af solvarme opvarmningssæsonen, hvilket forårsager et forøget behov for rumopvarmning.

I disse simuleringer er solafskærmningens primære funktion at forhindre solindstrålingen i et omfang så rum temperaturer over 26 °C undgås. Styringen ændres, så solafskærmningen aktiveres hvis der er sol på ruden og rumtemperaturen er over 25 °C. Denne styring gør at opvarmningsbidraget fra solindfaldet udnyttes, når der er opvarmningsbehov, og afskærmes før der er behov for køling.

Parametervariationen som er benyttet i denne serie af simuleringer er den samme som tidligere, hvor afskærmningsfaktoren er ændret fra 1 til 0 i spring på 0,2. Resultaterne fra simuleringerne, hvor den intelligente styring er implementeret er vist på figur 3.1.

Figur 3.1:
Resultatet af BSim simuleringerne, hvor solafskærmning anvendes som kølingsstrategi, og den optimerede styring er implementeret.



På figur 3.1 er det tydeligt at optimeringen på styringen har haft den ønskede effekt. Den voldsomme stigning i opvarmningsbehovet, som blev forårsaget ved implementeringen solafskærmning med Be06 styring, er fjernet, og reduktionen af kølebehovet er næsten uændret. Det positive resultat af den nye styring kan også ses på effektivitetsfaktoren, som er angivet i tabel 3.1.

Tabel 3.1:
Størrelsesordenen for effektivitetsfaktorerne ved implementering af solafskærmning som kølingsstrategi i henholdsvis Be06 simuleringerne og de 2 simuleringsserier i BSim. I de to BSim simuleringer er resultatet for ændringen fra 0,2 til 0 udeladt.

	Be06	BSim	BSim optimeret
ε_a	1,3-2,8	1-2	30-44

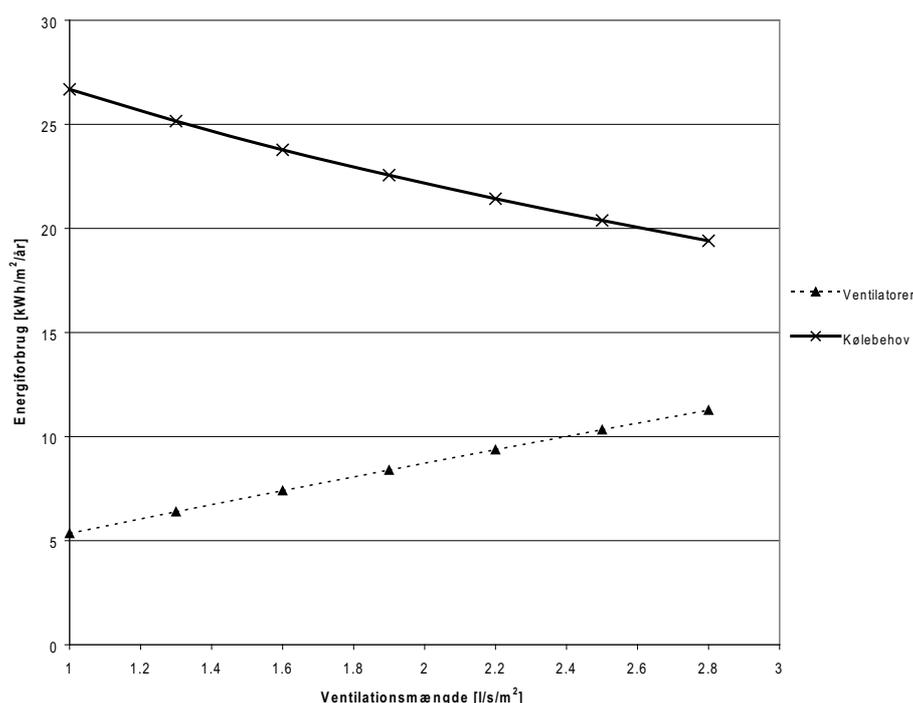
Effektivitetsfaktorerne som er listet i tabel 3.1 viser tydeligt, at den optimerede styringsstrategi gør solafskærmning til en langt mere effektiv kølingsstrategi end før antaget.

Selvom der i de tre serier af simuleringer, hvor solafskærmning er blevet benyttet som kølingsstrategi, er kommet forskellige resultater, så er det primære resultat entydigt. Implementering af solafskærmning er en effektiv måde at reducere kølebehovet i bygningen rent kvantitativt, da kølebehovet i alle tre simuleringsserier er blevet kraftigt reduceret. Den store forøgelse af effektivitetsgraden ved insættelse af “intelligent” styring skyldes udelukkende, at energibehovet til rumopvarmning blev fastholdt i stedet for at stige med den nye styring.

3.1.2 Forceret mekanisk ventilation

Det eneste som er ændret i styringen af den forcerede mekaniske ventilation, er temperaturen for aktivering af forceringen på ventilationen. I Be06 ak-

tiveres forceringen ved 24 °C, og denne temperatur er ændret til 21 °C. Ideen bag denne ændring er at kunne udnytte mere af kølepotentialet i den kolde udeluft, da forceringen ved denne styring er mere aktiv, og dermed er med til at holde temperaturen i bygningen længere nede. Ligesom ved de foregående serier er ventilationsraten ændret fra $1 \frac{l}{s \cdot m^2}$ som er basisventilationen til en maksimal ventilationsrate på $2,8 \frac{l}{s \cdot m^2}$ i spring på $0,3 \frac{l}{s \cdot m^2}$. Resultatet af simuleringerne med den nye styring for den forcerede mekaniske ventilation i arbejdstiden som kølingsstrategi er vist på figur 3.2.



Figur 3.2: Resultatet af BSim simuleringerne, hvor forcering på det mekaniske ventilationsanlæg i arbejdstiden er anvendt som kølingsstrategi.

Resultatet af denne simuleringsserie er en lille smule overraskende, da den kvantitative effekt af kølingsstrategien er uændret i forhold til samme kølingsstrategi med styringen fra Be06. Reduktionen i kølebehovet er uændret, men forbruget af elektricitet til ventilatorerne er større, så alt i alt er denne “optimerede” styring dårligere end styringen med parametrene fra Be06.

Årsagen til at den ændrede styringsstrategi ikke fører til en forbedring af kølesystemet er, at den øgede køling som systemet tilfører bygningen, er i temperatur intervallet fra 21 °C til 24 °C og køleeffektiviteten bliver målt over 26 °C.

Fælles for alle tre simuleringsserier, hvor forcering på ventilationsanlægget i arbejdstiden er anvendt som kølingsstrategi, er, at der som udgangspunkt er et stort kølebehov i bygningen, og at kølingsstrategien hverken kvantitativt eller i forhold til effektivitetsfaktoren er særlig god. I tabel 3.2 er

resultat data fra de tre simuleringsserier hvor forceret mekanisk ventilation i arbejdstiden er anvendt som kølingsstrategi angivet.

Tabel 3.2:

Data for de tre simuleringsserier hvor forceret mekanisk ventilation i arbejdstiden er anvendt som kølingsstrategi.

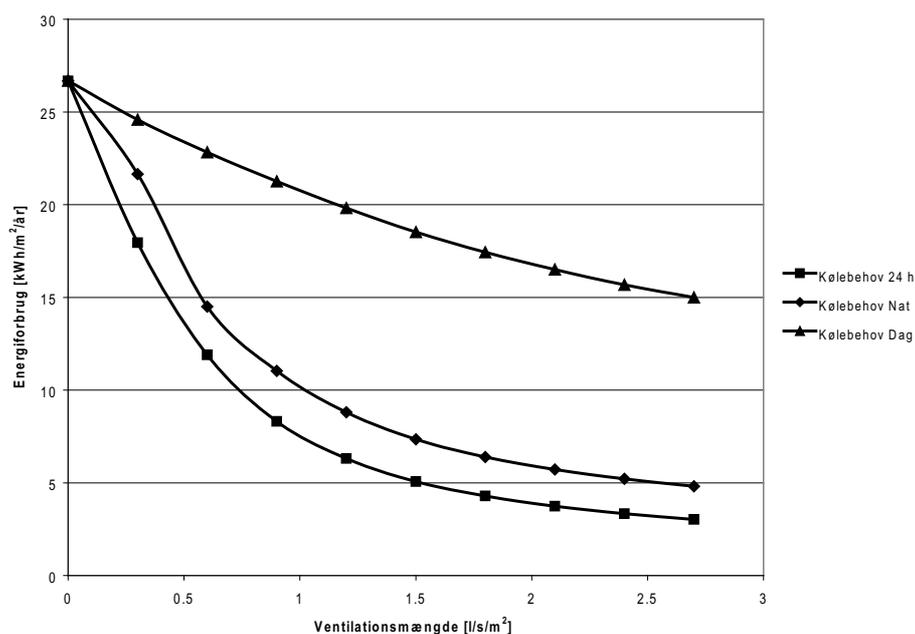
	Be06	BSim	BSim optimeret
ε_{fm}	2,8	1,6-1,9	1,2-1,5
Reduktion i kølebehov ved $2,8 \frac{l}{s \cdot m^2}$	$9,0 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$	$7,2 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$	$7,3 \frac{kWh}{m^2 \cdot \text{år}}$

3.1.3 Naturlig ventilation

For den naturlige ventilation er de primære ændringer i styringsparametrene, at aktiveringstemperaturen for ventilationen er sænket. I Be06 aktiveres den naturlige ventilation når rumtemperaturen overstiger $24 \text{ }^\circ\text{C}$, dette er ændret, så den naturlige ventilation aktiveres når temperaturen når $21 \text{ }^\circ\text{C}$ i arbejdstiden og udenfor arbejdstiden aktiveres den naturlige ventilation når rumtemperaturen overstiger $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Som følge af at aktiveringstemperaturen er sænket til $20 \text{ }^\circ\text{C}$ uden for arbejdstiden, er opvarmnings systemet sat til at holde $18 \text{ }^\circ\text{C}$ i stedet for $20 \text{ }^\circ\text{C}$ uden for arbejdstiden. Dette er gjort, så systemerne ikke bliver ustabile. Der er ligesom ved den foregående simuleringsserie foretaget tre forskellige implementeringer af naturlig ventilation som kølingsstrategi. En hvor der er naturlig ventilation hele døgnet, en hvor den naturlige ventilation er aktiv i arbejdstiden og en hvor den er aktiv uden for arbejdstiden. Fælles for de tre serier er at ventilation luftmængden varieres fra $0 \frac{l}{s \cdot m^2}$ til $2,8 \frac{l}{s \cdot m^2}$ i spring på $0,3 \frac{l}{s \cdot m^2}$. Resultaterne af BSim simuleringerne for disse tre serier er vist på figur 3.3.

Figur 3.3:

Resultaterne af de tre simuleringsserier i BSim, hvor naturlig ventilation implementeres som kølingsstrategi.



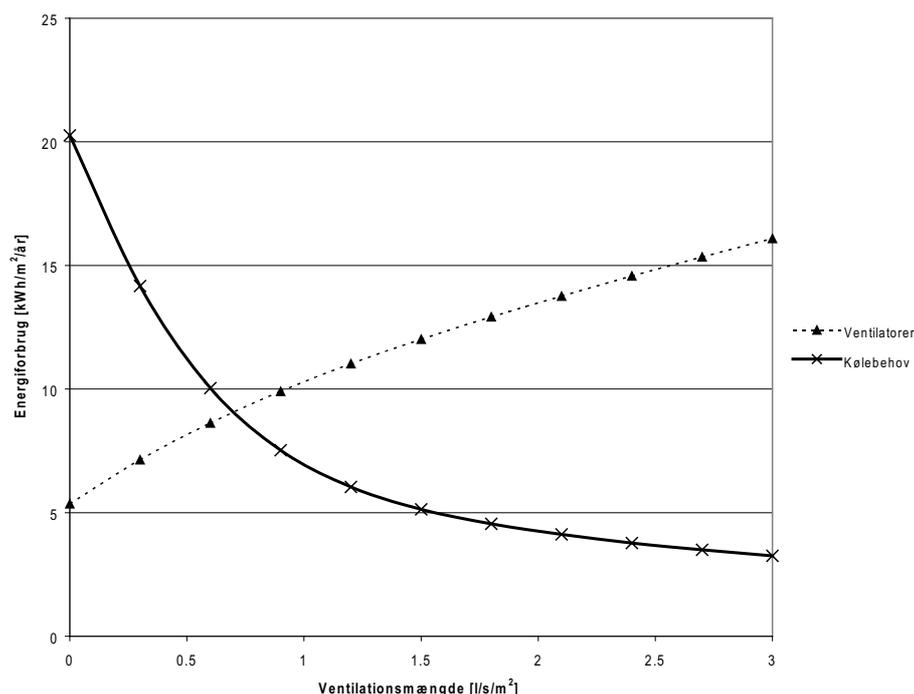
Resultaterne af denne simulering viser, at den største forbedring sker, ved sænkning af aktiveringstemperaturen uden for arbejdstiden. Grunden til dette er, at kølepotentialet på dette tidspunkt er størst, og at det derfor er muligt at køle bygningen meget mere end det er i løbet af dagen. Den kvantitative effektivitet af kølingen med naturlig ventilation uden for arbejdstiden er blevet forbedret med den nye styring, men den nye styring medfører også at der med en øget ventilation også bliver et øget behov for rumopvarmning. Dette skyldes at aktiveringstemperaturen for det naturlige ventilationsanlæg er for tæt på setpunktet for opvarmningsanlægget.

Den natkøling, som er blevet implementeret, indebærer også at varmesystemets setpunkt sænkes til 18 °C uden for arbejdstiden i de to serier, hvor den naturlige ventilation er aktiv uden for arbejdstiden. Dette betyder at opvarmningsbehovet sænkes i forhold til styringen efter Be06 parametrene. Den nye styring om natten gør, at bygningens varmekapacitet bliver udnyttet sammen med det store kølepotentiale i udeluften uden for arbejdstiden, og specielt den naturlige ventilation uden for arbejdstiden er kraftigt forbedret i forhold til styringen efter Be06 parametrene. Dog er effektiviteten af naturlig ventilation som kølingsstrategi ikke så god som simuleringerne i Be06 viser.

3.1.4 Mekanisk ventilation uden for arbejdstiden

For den mekaniske ventilation uden for arbejdstiden, giver styringen fra Be06 de samme problemer som ved den naturlige ventilation uden for arbejdstiden. Systemet udnytter ikke den store kølekapacitet der er i den kølige luft om natten. Ændringen i styringen for den mekaniske ventilation uden for arbejdstiden består i, at køle setpunktet er ændret fra 24 °C til 20 °C, og at setpunktet for rumopvarmning uden for arbejdstiden er ændret fra 20 °C til 18 °C. I de simuleringer som er foretaget i BSim, hvor den mekaniske ventilation uden for arbejdstiden er implementeret som kølingsstrategi, er luftmængden ændret fra $0 \frac{l}{s \cdot m^2}$ til $3 \frac{l}{s \cdot m^2}$ i spring på $0,3 \frac{l}{s \cdot m^2}$. Resultatet af disse simuleringer er vist på figur 3.4.

Figur 3.4: Resultaterne af simuleringerne i BSim, hvor mekanisk ventilation uden for arbejdstiden er implementeret som kølingsstrategi.



Resultaterne på figur 3.4 viser at optimeringen af styringen i forhold til Be06 er meget effektiv. Reduktionen af kølebehovet med den optimerede styring er forøget i forhold til BSim simuleringerne med Be06 styring. En bemærkning skal dog være, at selvom den kvantitative kvalitet af mekanisk ventilation uden for arbejdstiden er forøget, så er effektivitetsfaktoren en lille smule lavere med den nye styring i forhold til styringen efter Be06 parametre. Dette skyldes, til dels at der med den nye styringsfor kommer en forøgelse af behovet for rumopvarmning, når ventilation luftmængden sættes op. Samtidigt er ventilationssystemet også aktivt i længere tid i løbet af året med den optimerede styring, hvilket medfører et øget elforbrug til ventilatordrift.

3.2 Samlet vurdering på de tre simuleringsserier

BSim simuleringerne er blevet lavet, for at kontrollere beregningerne som er foretaget i Be06. Det første beregningseksempel i BSim tog udgangspunkt i den styring som er implementeret i Be06, og var på den måde en direkte kontrol af beregningerne i Be06. I det andet beregningseksempel er styringen ændret til en mere realistisk styring, som det kunne tænkes implementeret i en virkelig bygning. Dette beregningseksempel er lavet for at synliggøre det faktiske kølepotentiale i de undersøgte kølingsstrategier.

I Be06 var den bedste kølingsstrategi naturlig ventilation, men i kontrolbe-

regningen hvor parametrene fra Be06 blev implementeret i BSim blev det vist at den kvantitative effektivitet var noget overdrevet. Be06 tager ikke højde for at den naturlig ventilation ikke kan køle bygningen ned, på de tidspunkter hvor der ikke er et kølebehov. BSim beregningen viste dog også, at antagelsen om at den naturlige ventilation ikke belastede energiregnskabet negativ er i orden. Ved implementeringen af "intelligent" styring i BSim var det muligt at øge den kvantitative effektivitet for den naturlige ventilation uden for arbejdstiden. Når alt dette er taget i betragtning, så er naturlig ventilation, specielt uden for arbejdstiden, er en meget effektiv kølingsstrategi.

Resultaterne for implementeringen af solafskærmningen som kølingsstrategi efter styringen fra Be06 gav ikke helt samme resultat i BSim og Be06, men tendensen var tydeligt den samme. Effektiviteten af kølingsstrategien led under den dårlige styring, hvor solafskærmningen altid er aktiv når der er sol på vinduerne. I det sidste BSim eksempel, hvor styringen er ændret, så solafskærmningen kun er aktiv, når der er problemer overophedning i bygningen. Denne ændring gør, at solafskærmning både ud fra en kvantitativ vurdering og ved sammenligning af effektfaktorer er den bedste kølingsstrategi i det sidste BSim eksempel.

Begge BSim eksempler viser entydigt, at det kvantitative kølepotentiale ved ventilation i arbejdstiden er meget begrænset. Specielt den forcerede ventilation i arbejdstiden viser sig at være en dårlig kølingsstrategi, da forøgelsen i energi til ventilatordrift er næsten lige så stor som reduktionen i kølebehovet.

Som det sidste blev belysningsstyring vurderet som en kølingsstrategi. Implementeringen af belysningsstyring har ingen stor effekt på kølebehovet, og derfor er det ikke nogen god kølingsstrategi.

Litteraturliste

Aggerholm, S. (2005). Følsomhedsanalyse for kontorbyggeri.

Integreret energiprojektering af større bygninger - Danvak, (8).

Pilkington (2007). Glasfakta 2007 (katalog).

<http://www.pilkington.com/europe/denmark/danish/building+products/glasfakta+2007.htm>.

Transport- og Energiministeriet (2005). *Handlingsplan for en fornyet energispareindsats - Energibesparelse og marked.* Scanprint a/s.

ISBN: 87-91511-46-1.

Scientific Publications at the Department of Civil Engineering

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

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

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

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

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

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

Published 2008 by
Aalborg University
Department of Civil Engineering
Sohngaardsholmsvej 57,
DK-9000 Aalborg, Denmark

ISSN 1901-726X
DCE Technical Report No. 054

